TRATADO

DE LAS

CONSTRUCCIONES EN EL MAR

ARREGLADO AL PROGRAMA

DE LA

ESCUELA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

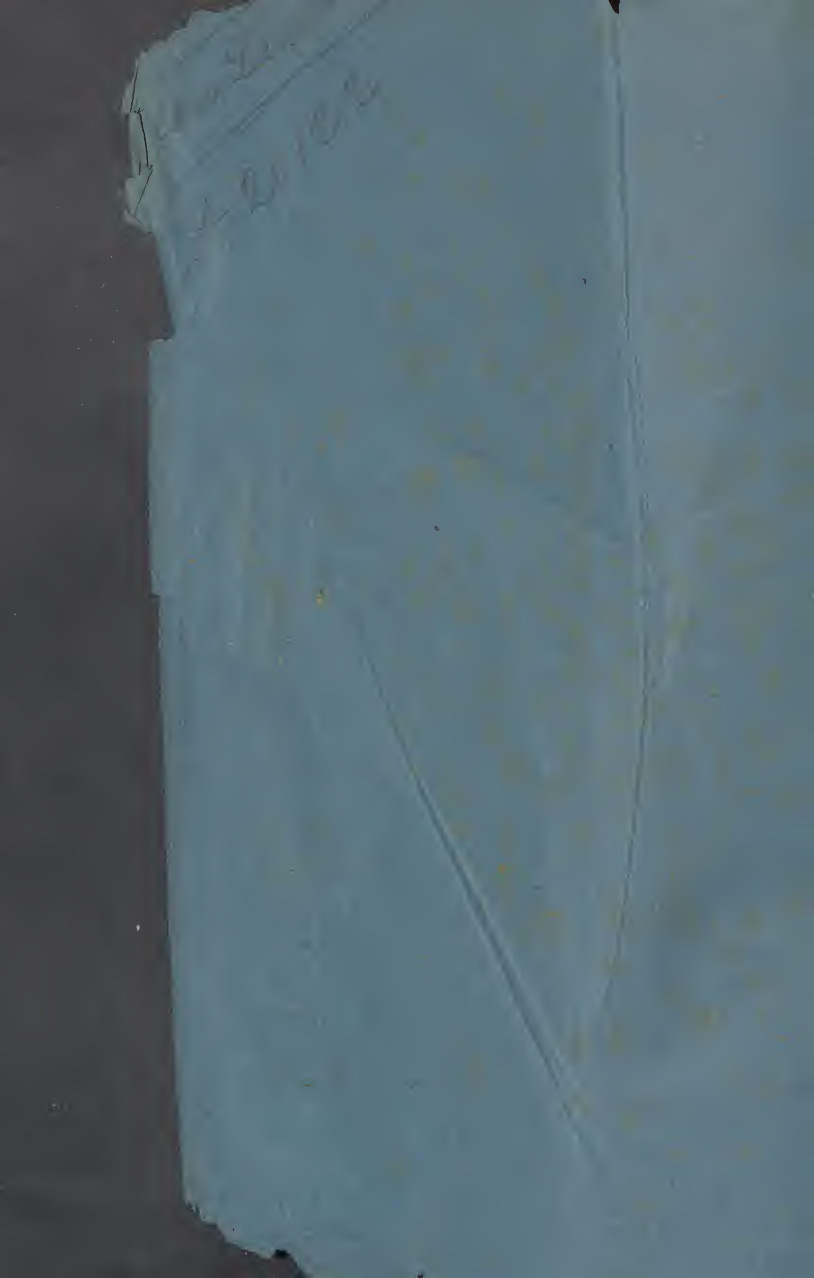
POR

DON PEDRO PEREZ DE LA SALA

INGENIERO JEFE Y PROFESOR DE LA MISMA ESCUELA

Entrega quinta

MADRID
IMPRENTA Á CARGO DE JULIAN PEÑA
Calle de Regueros, núm. 9.
1876



CAPÍTULO XI.

FORMAS Y TRAZADO DE LOS DIQUES.

—

RESUMEN.

203. Puertos en la antigüedad.—204. Tiro.—205. Cartago.—206. Atenas.—207. Alejandría.—208. Ostia.—209. Sistemas de construccion de los antiguos.—210. Definicion de los diques y rompeolas. Condiciones que deben llevar.—211 Influencia de las obras en el régimen de un puerto.—212 Influencia en las condiciones náuticas.—213. Partes de que consta un dique. Materiales que lo componen, y forma.—214. Esfuerzo de la ola contra el dique.—215. Resultados del choque.—216. Perfiles curvos.—217.—Coronacion de los diques.—218. Forma longitudinal de los diques.—219. Cabezas ó morros.—220. Diques interrumpidos.

203.—Puertos en la antigüedad.—En los capítulos anteriores se han estudiado separadamente todos los elementos que deberán influir en el establecimiento de un puerto, tanto en lo que se refiere á sus condiciones náuticas y comerciales, como en lo relativo á la duracion y estabilidad de las obras. Ahora estudiaremos combinados elementos tan diversos, haciendo aplicacion inmediata á cada una de las obras que forman parte ó figuran en el proyecto de un puerto.

Desde los albores de la civilizacion se ven cruzar los mares, utilizándolos en el servicio de un activo comercio, á los pobladores de aquellas comarcas favorecidas por la suerte con una situacion á orillas del mar. Los Fenicios, fundadores de las ciudades de Tiro y Sidon, esparcieron sus colonias por todo el litoral del Mediterráneo, estableciéndose en Útica, luego en Cartago, y más tarde en las costas de España. La Grecia, por la extension de sus costas y su posicion central en el Mediterráneo, estaba tambien

24

llamada á ser una nacion marítima: á la marina debió el conservar su independencia, y Atenas, vencida en tierra, el triunfo sobre su rival Esparta. A Italia, en condiciones análogas á las de Grecia, le estaba igualmente reservado en el mar tan glorioso destino como en tierra, venciendo con sus naves, sometiendo y destruyendo al fin, á su poderosa rival Cartago.

Las obras de puertos eran, en la antigüedad, lo más adelantado en el arte del ingeniero, y muy poco han progresado los modernos en el proyecto y construccion de este género de trabajos. Los puertos eran vastos, de segura y cómoda estancia, y si no esceden á algunos de los actuales en extension y calado, tampoco en aquellas remotas edades las naves más poderosas de guerra igualaban en dimensiones á las mercantes de mediano porte de nuestros dias. Un calado de 2 á 3 metros era entonces suficiente, duplicada esta cifra y triplicada en los puertos modernos de menor importancia. Es verdad, que los historiadores mencionan naves de extraordinaria cabida, pero si han existido como las describen, no se han utilizado, siendo tan sólo una muestra del poder de los soberanos que las hicieron construir. De todos estos buques, los más notables son los siguientes: el de Hieron, llamado el *Siracusano*, de 4.000 toneladas de porte y botado al agua por Arquímedes. Tolomeo Filopator hizo construir en Alejandría otro del mismo porte con 128 metros de eslora, 17,50 de manga y 22 de puntal. Llevaba 40 bancos de remeros y 4 timones de 13,50 metros de longitud. El lastre, para darle mayor estabilidad, consistia en plomo estivado en la proa y en la popa. Su tripulacion se componia de 400 marineros, 4.000 remeros con 385 soldados para escolta del rey. Llevaba ademas la tropa de combate, pero nunca llegó á utilizarse.

Los buques de los antiguos son muy parecidos en las diversas naciones, copiándose unas á otras, cosa natural entre pueblos que habitaban las playas del mismo mar; sin que en tan dilatado período ningun invento viniera á modificar, ni el sistema de construccion ni las dimensiones de los buques. Por eso las naves egipcias, cartaginesas, griegas y romanas, apenas difieren unas de otras. Los barcos mercantes son cortos, anchos y de muy poco calado para poderlos sacar á tierra: la relacion de la eslora á la manga es de 3 ó 4 por 1: su propulsor principal era el viento. Ordinariamente llevaban un mástil en el centro con algunos remos para auxiliar la marcha en tiempo de calma ó de vientos contrarios. El timon no estaba colocado, como hoy se acostumbra, en el eje del buque, sino á un costado,

y tenia la forma de un remo; tambien solian llevar más de uno, como en el ejemplo antes citado del buque mandado construir por Tolomeo.

Los buques de guerra eran más finos, y la relacion de la eslora á la manga variaba entre 6 á 10 por 1: sus dimensiones alcanzaban á 30 ó 35 metros de eslora, 3 á 4 de manga, calando 1,25 á 2,50 metros. La popa y la proa, muy agudas y más elevadas que el resto del buque para combatir desde ellas; la última estaba armada con un espolon de bronce, con el cual echaba á pique los navíos enemigos. Como propulsor se usaba el remo, contándose por filas ó bancos hasta diez. No hay certeza absoluta en el significado que daban á esta palabra, pues se ha reconocido la imposibilidad de más de cinco filas, una encima de otra, y en medallas y bajos relieves la trireme es la que ordinariamente figura. La tripulacion constaba, además de los remeros, de 60 á 70 marineros, con 100 á 120 soldados para el combate.

Se deduce de lo dicho, cuán fáciles de llenar eran las condiciones de los puertos de la antigüedad, y más lo fueran todavía, si se tratara solo de puertos comerciales; pero no se limitaron á ellas, y sorprende la magnificencia y grandeza desplegadas en tales obras, en aquellas remotas edades. Para formar una cabal idea de lo que era entonces un puerto, elegiremos un ejemplo en cada una de las naciones que habitaron las costas del Mediterráneo.

204. Tiro.—Tiro y Sidon, ciudades situadas en la extremidad Este del Mediterráneo entre los 33.° y 34.° de latitud, fueron los puertos principales de los Fenicios. El primero, á unas cinco leguas al Sur del segundo, tuvo dos épocas diferentes: fundada la ciudad en la costa de Siria, 1.300 años antes de la venida de Jesucristo, quedó arrasada por Nabucodonosor, despues de trece años de sitio. Los Tirios no fueron, á pesar de esto, sometidos; se retiraron á una isla distante un kilómetro de la costa, á donde no pudo seguirles el vencedor, rendido por las fatigas de tan prolongado sitio y falto de marina para atacar la isla; una nueva Tiro se levantó en ella, gozando de una prosperidad creciente hasta la dominacion romana. Hoy la isla se ha convertido en Península; Alejandro el Magno levantó un dique para auxiliar las operaciones del sitio que puso á la ciudad, acumulándose á su amparo las arenas del litoral, hasta formar un istmo de 600 metros de ancho en la parte más estrecha. En cambio, toda la parte Occidental de la isla ha sido sumergida en extension de una milla, descubriéndose aun

hoy, debajo del agua, restos de los antiguos monumentos de la ciudad fenicia.

La ciudad (fig. 153), contaba con dos puertos, uno al Norte y otro al Sur, unidos por un canal *AA* de comunicacion. El extenso fondeadero del Norte, ó de Sidon (llamado así, porque daba frente á esta ciudad) se encon-

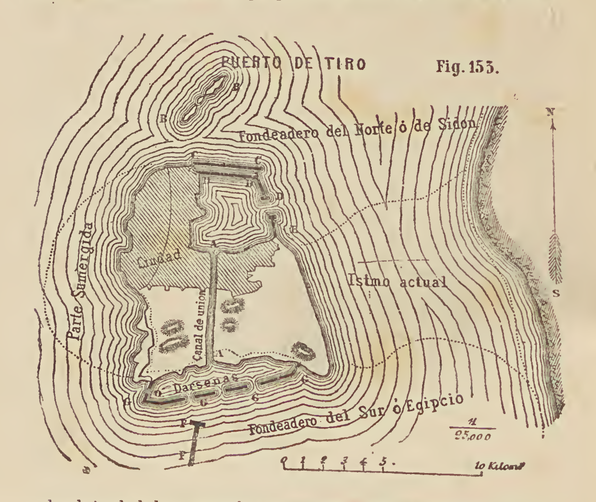
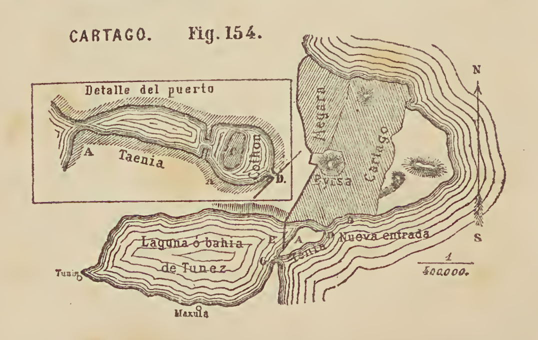


Fig. 153.

raba abrigado de los temporales por una cadena *BB* de islotes. Dentro del fondeadero estaba el verdadero puerto, pequeña ensenada mirando al Nordeste, de seis hectáreas de extension y abrigada de los vientos del Oeste por la isla. El puerto, con la entrada, por el lado de tierra, lo cerraban al Norte dos diques paralelos *C* y *D* (cuyos restos aun subsisten), distantes entre sí 30 metros. Formaba el abrigo por la parte de tierra, una restinga de rocas combinada con un dique EE prolongado hasta dejar, con el del Norte, una boca de 43 metros, para dar ingreso á los buques en el interior del puerto. La extension de la dársena se vé hoy reducida á unos 1.100 metros cuadrados por haberse cegado el resto, aprovechándose el terreno para construir sobre él en épocas más recientes.

El puerto del Sur ó Egipcio, llamado así por mirar hácia aquella comarca, estaba defendido de los vientos de afuera por un rompeolas *FF*, cuyos restos reconoció Berton, así como los de otro dique interrumpido *GG* para abrigar las dársenas. Un canal *AA* unia, segun se ha dicho antes, ambos puertos.

205. Cartago.—Cartago, colonia de los Fenicios, superó á su madre patria Tiro en poder y en riquezas. Situada hácia los 36.°-52′ de latitud, en una pequeña península que forma la parte más saliente al Este de la costa de Africa, dista solo 40 leguas de Sicilia, y domina el mar Tirreno y las costas de Italia y España; posicion la más favorable para absorber el comercio de aquella region del Mediterráneo. Ocupaba el fondo del golfo de Cartago, entre los cabos Farina al Poniente y el Bon al Levante, pero su entrada (fig. 154), no desembocaba directamente en el Mediterráneo,



sino en un golfo ó lago interior (bahía de Túnez), comunicando con el mar por una estrecha abertura llamada en época más reciente la Goleta. Este golfo interior lo separa del mar el cordon litoral de aquella costa, del cual es una prolongacion hácia el Sudoeste, la estecha, baja y arenosa lengua de tierra *A*, llamada Tenia, de medio estadio de ancho (unos 90 metros): hoy la Goleta se ha cegado, y el golfo, se ha convertido en un verdadero lago. En el ángulo entrante formado por la Tenia, y por la costa Norte de la laguna de Túnez, ó la parte Sur de la península de Cartago, se

abrigaban los dos puertos, abiertos, segun todas las probabilidades, artificialmente. El exterior, destinado al comercio, tenia una boca de 21 metros, que se cerraba con cadenas: en el interior ó puerto militar estaba el arsenal, con los buques de guerra de aquella república. Una isla *C*, de forma oval, llamada Cothon, más elevada que las playas contíguas, ocupaba el centro, sirviendo á la vez de observatorio náutico y militar, y tambien para cubrir la entrada y el interior del puerto, al cual la isla daba nombre. Los muelles, los diques para 220 buques, los almacenes y arsenales rodeaban la isla y la ribera del puerto; cuyos muelles y almacenes estaban lujosamente adornados con pórticos y columnas. Los restos que aun se descubren, inducen á creer que el puerto exterior ó comercial tenia una forma prolongada, y el interior ó militar redonda. Todavía el comercio contaba con otros muelles en la costa misma del Mediterráneo, fuera de la laguna y extramuros de la ciudad, de los cuales tambien aparecen ruinas en *B*.

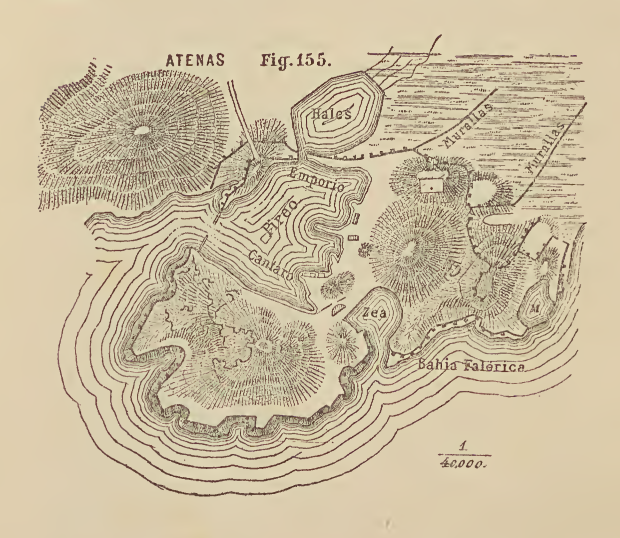
Durante la tercera guerra púnica, Cartago abrió en *D* una salida directa al mar desde el Cothon, al través de la Tenia, sin pasar por el lago, por haber Escipion cortado con un dique *E* la que desembocaba en él. Este puerto vino rápidamente á ménos despues de la destruccion de Cartago en la tercera guerra púnica.

La costa ha variado de tal manera desde aquella época, que á pesar de las descripciones detalladas de Cartago que han llegado hasta nosotros, no han logrado los historiadores ponerse de acuerdo sobre su situacion. El plano de Ritter difiere radicalmente del que aquí damos; y el croquis que Belidor inserta en su *Arquitectura hidráulica*, no se asemeja á ninguno de los dos citados, ni á lo que hoy existe, y más bien parece trazado á capricho.

206. Atenas.—Tambien Atenas estableció su puerto, ó mejor dicho, sus puertos (porque eran varios) al rededor de una península (fig. 155) llamada el Pireo. El más alto grado de su poderío coincidió con su explendor marítimo: distante más de una legua del mar, llevó á término la colosal empresa de unir la ciudad con sus puertos por medio de murallas de fábrica de cuatro metros de espesor, con un desarrollo de 14 kilómetros, además de otros 11 para enlazar entre ellos los diferentes puertos y las murallas propias de la ciudad.

La península Pireo, que daba nombre al puerto principal, forma á

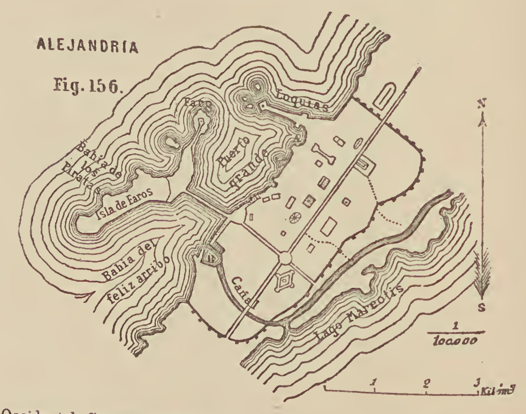
uno y otro lado dos extensas bahías, la Falérica al Este y la del Pireo al Oeste, con numerosas calas y ensenadas muy propias para abrigo de los buques. El Pireo ha debido ser en otro tiempo un islote parecido al de Gibraltar, convertido más tarde en península por los acarreos del mar. La bahía Falérica es la más extensa de las dos, y el puerto Falero, situado en su extremidad Oriental, dando frente al Noroeste, el más antiguo de todos.



A medida que Atenas fué prosperando, el tráfico se trasladó á la bahía opuesta, tanto por la insuficiencia del puerto Falero para contener todos los buques, como por lo desabrigado de la bahía. Sin embargo, aunque abandonado Falero y trasladado al Pireo el movimiento comercial, todavía conservaron en esta bahía, pero en la costa del Oeste, dos puertos importantes, el de Muniquia, *M*, dominado por la ciudadela del mismo nombre, el menor de los dos, y el de Zea, para buques de guerra, el mayor de todos.

La bahía del Pireo, cuya entrada mira al Sudoeste, se componia de tres partes distintas: la del Norte llamada Hales, formada por los terrenos pantanosos donde desemboca el Cefiso, cegándose rápidamente con los acarreos de este rio. El resto de la bahía, contenia dos puertos: uno militar, el Cantharo al Sur de la bahía, y otro comercial llamado Emporio ocupando el resto. En la costa Oriental del Emporio, ó sea en la Occidental del istmo, se establecieron los muelles, mercados y almacenes formados por cinco pórticos ó Stoas.

207. Alejandría.—Otro puerto griego, aunque en tierra egipcia, es el de Alejandría, fundacion de Alejandro el Macedonio. Acaso el más célebre de la antigüedad, aunque de época más reciente que los anteriores, se compone (fig. 156), como Tiro, de dos puertos, llamados el Oriental y el



ALEJANDRÍA

Fig. 156.

Occidental. Situada Alejandría en la extremidad Este del Mediterráneo, pero en la costa del Mediodía, hácia los 31.° de latitud, estaba defendida de los embates del Septentrion por la isla de Faros, de cuatro kilómetros de extension, en cuya extremidad de Levante, lucia el celebrado faro, reputado como una de las siete maravillas del mundo, y cuyo nombre tomado de la isla, se extendió á las demás construcciones de la misma especie. Del centro de la isla hácia la costa, arrancaba un dique, que, por la lon-

gitud que media, se le llamó el Heptastadio, dique convertido hoy en istmo por iguales causas que en Tiro.

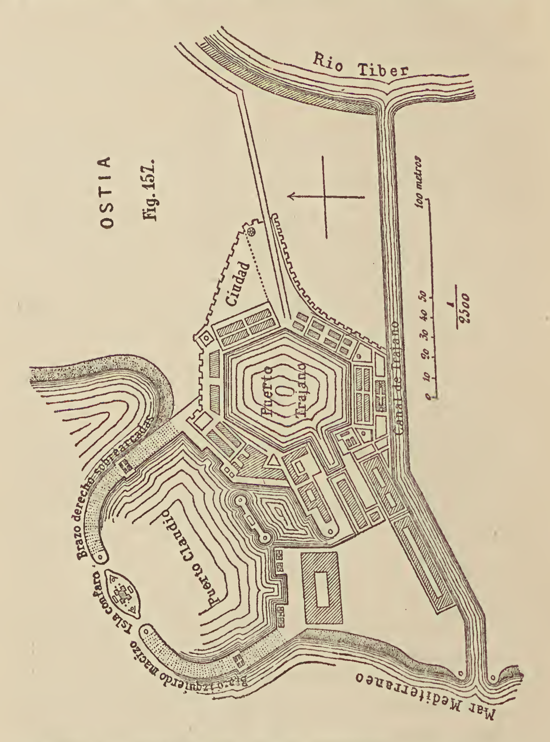
El puerto Oriental se denominaba el "Puerto grande;" su boca, de un kilómetro de abertura, mira al Noroeste, y la forman la extremidad Este de la isla Faros, figurando una pequeña península, y otra punta muy prolongada, en forma de dique, llamada Loquias, coronada por un castillo que hacia juego con el faro para la defensa del puerto. Los numerosos islotes que rodeaban la isla principal, hacian peligrosa y difícil la entrada en el Gran puerto.

Dentro ya de él, se descubren todavía, á lo largo del Loquias, restos de muelles y de embarcaderos; y en el recodo que con la costa forma su arranque, se estableció el Puerto Real *A*, abrigado por dos diques, y dentro de él, el arsenal. Desde aquí se extienden, á lo largo de la costa, los muelles y embarcaderos, prolongándose la línea hasta más allá del Heptastadio, dentro del puerto del Oeste. Este puerto llamado del "Feliz arribo," con entrada más franca que el Grande, comunicaba, por el intermedio de un canal, con el lago Mareotis y la rama Canópica del Nilo, desde una dársena *B* (el Eunosto) situada en el extremo Occidental de la ciudad.

208. Ostia.—Réstanos tan solo presentar un tipo de puerto romano, y ninguno mejor para el caso que el puerto de Ostia, considerado, en la época más floreciente de la República y del Imperio, como la Roma marítima Situado en la desembocadura del Tíber, todo lo debió al arte, nada á la naturaleza, siendo visitado, antes de emprender en él obras, solo por pequeñas barcas. Las dificultades vencidas, con que se hubo de luchar para abandonarlo más tarde, fueron enormes; todo se oponia al establecimiento y conservacion de un puerto en tan malas condiciones; su proximidad á las lagunas Pontinas y al Tíber cargado de abundantes acarreos, y la situacion en la extremidad superior de una profunda bahía abierta á los temporales del Sudoeste y Noroeste, que arrojan al interior del puerto las materias llevadas en suspension por las aguas.

El puerto fué tomando incremento desde el reinado de Anco Marcio, y, con el aumento del tráfico, desenvolviéndose en él las obras encaminadas en su mayor parte á encauzar el Tíber. Julio César dió un gran impulso á estos trabajos, pero el verdadero puerto, es debido al emperador Cláudio, aunque mejorado y ampliado más tarde por Trajano.

El puerto (fig. 157) se sacó fuera de la desembocadura del Tíber : consistia en un antepuerto de 53 hectáreas de extension, cerrado por dos diques arrancando de la costa, próximamente de 600 metros de longitud cada uno y de 54 de ancho. El vano de 335 metros entre las extremidades de



los diques, lo cubria un islote artificial sosteniendo un faro, cuyo dique media 230 metros de largo por 120 de ancho, dejando dos bocas de 43 me-

tros cada una. El núcleo de este dique lo componia el buque, de dimensiones extraordinarias, que sirvió para el trasporte del obelisco egipcio. Una tercera parte del antepuerto fué ganada escavando artificialmente en la costa. El dique del Nordeste se fundó sobre arcadas que permitian el libre juego de las aguas, pero el central y la parte circular del dique del Sudoeste se construyeron macizos para impedir la entrada de los aluviones.

Detrás del antepuesto y separado de él por otro dique análogo y de dimensiones iguales al de la boca, se encontraba una pequeña dársena en forma de trapecio, de 3 hectáreas de extension, unida al Tíber y al mar por un canal navegable. Un segundo canal paralelo al primero, que en rigor era una rectificacion y un encauzamiento del Tíber, servia tambien para pasar directamente al rio desde el mar, sin entrar en el puerto. El calado probable del antepuerto no debia exceder de 5 á 6 metros en lo más profundo, ni de 2,50 á 3,00 el de la parte escavada, así su interior, como dentro de las dársenas.

Trajano encontró insuficiente la dársena y la amplió, ó más bien creó una nueva de forma exagonal, tomando parte de la antigua. Los lados de la dársena exagonal, median 404 metros, y 28 hectáreas la superficie. Los dos canales desaparecieron con la reforma, sirviendo parte del primero para el ingreso desde la pequeña dársena á la grande. Para mantener expedita la comunicacion del Tíber con el puerto y con el mar, se abrió un nuevo canal parecido á los cegados. De esta manera los acarreos del Tíber no obstruian la entrada, siguiendo su curso natural por el cáuce antiguo.

Los obstáculos opuestos por la naturaleza superaban los esfuerzos del hombre, y no se consiguió triunfar de ellos; la costa avanzaba rápidamente á razon de dos metros por año, y al fin se abandonó este puerto por el de Civitta-Vecchia.

209. Sistemas de construccion de los antiguos.—Las naciones antiguas conocieron los sistemas de construccion más generalmente usados en el dia: aun subsisten restos antiquísimos de escollera, que remontan á la época de los Fenicios. Cerca de Alejandría se descubren macizos de fábrica de hormigon, fabricado con dos partes de grava y una de cal hidráulica, cuya construccion pertenece á una época entre Alejandro el Magno y Júlio César. Tambien en Cánope se ven aun construcciones submarinas, en las cuales entran restos de materiales y estátuas de templos egipcios.

El uso de los hormigones hidráulicos se pierde en la noche de los tiem-

pos: Griegos, Romanos, Indios, Escitas, Chinos, todas las naciones los han conocido y aplicado; los Sirios se valieron de cales magnesianas sacadas de las dolomías, y tambien emplearon materias sacarinas interpuestas, en forma de capas delgadas, é introducidas en la masa con pisones. Los Romanos fundaron principalmente en las puzzolanas la construccion de sus obras hidráulicas. Lo singular del caso es, que el sistema de escolleras, el que por su sencillez se debió ocurrir primero á los constructores, no lo menciona Vitruvio entre los varios de construccion aplicados á los puertos por los Romanos; esta singularidad, sobre la cual llama la atencion Galiani, sirvió más tarde á Fazzio para fundar una teoría de los puertos romanos, pretendiendo encontrar en los restos hoy existentes, un sistema de diques abiertos, para dejar libre el juego de las corrientes. En efecto, Vitruvio solo describe tres procedimientos: 1.° El sistema de encofrados con hormigon ó mampostería hidráulica. 2.° El de ataguías y agotamientos para construir en seco. 3.° El levantar grandes macizos de fábrica sobre una plataforma de arena, defendida del mar por muros de mampostería en seco; destruido el muro y arrastrado el macizo de arena, se precipitan al mar las masas que debian componer el dique. Pero en cambio, muchos puentes, construidos durante la dominacion romana, están fundados sobre escolleras, y los Fenicios y Griegos las usaron en grande escala en sus puertos.

Hé aquí resumidos los conocimientos que los antiguos poseyeron en materia de puertos; vamos ahora á exponer metódicamente lo que hoy se sabe, y de la comparacion deduciremos los progresos realizados, durante los tiempos modernos, en este ramo importante de la construccion.

210. Definicion de los diques y rompeolas; condiciones que deberán llenar. — Los diques y rompeolas, como sus nombres lo indican, son unas construcciones destinadas á segregar del mar y de sus agitaciones, el espacio destinado al puerto, y á quebrantar la fuerza de las olas. Reservaremos, sin embargo, el nombre de rompeolas á las construcciones cuyo exclusivo objeto es el hacer romper la ola, y el de diques, á las que, ya con esta circunstancia ó sin ella, llevan una fábrica ó coronacion superior, desde la cual se presta auxilio á los buques en la entrada, y en caso necesario, sirven de muelles en las faenas del comercio. La obra de Plymouth constituye un verdadero rompeolas, lo mismo que los conos proyectados en el siglo pasado para defender de los temporales la rada de Cherburgo; al paso que la obra definitiva, llevada á cabo en esta rada, es un verdadero

dique, por más que á su parte inferior haya de considerársela como rompeolas.

Debiéramos, en rigor, discutir la forma de los diques separada é independientemente de los materiales usados en su construccion; pero tal es la relacion que entre aquella y estos existe, que forzosamente habremos de tocar, al hablar de la forma, algo relativo á los materiales.

El establecimiento de un dique debe satisfacer á las condiciones siguientes: 1.ª Introducir la mínima perturbacion en el régimen marítimo de la localidad, cuando no sea posible mejorarlo. 2.ª Facilitar la entrada de los buques que se acerquen en demanda del puerto, y la salida de los que se hagan á la vela, al mismo tiempo que procurar el abrigo conveniente. 3.ª Que opongan la mayor resistencia al embate de las olas. Desgraciadamente, nada se conoce de lo que con certeza es aplicable en cada caso particular, atendidas sus circunstancias, y ni siquiera se posee un principio general que, como en las rías, sirva de guía al ingeniero.

211. Influencia de los diques en el régimen de un puerto. — Un obstáculo levantado en el mar, produce, inmediatamente detrás de sí, un abrigo que modifica las condiciones relativas al régimen. La agitacion de las olas mantiene en suspension el légamo y las arenas arrancados al fondo, que las corrientes transportan al interior, donde se precipitan dentro del espacio abrigado y del cual no pueden ser de nuevo barridas, porque las corrientes, por sí solas, son de ordinario impotentes á arrastrarlos, si préviamente no han sido levantados por la agitacion y llevados en suspension por las aguas. Otras veces la construccion del dique suprime las corrientes ó impide la salida de las que conducian fuera del puerto los acarreos introducidos en él; de todo lo cual resulta, que si la tranquilidad se ha de conservar, se originan forzosamente depósitos, tanto mayores, cuanto mayor diferencia relativa exista entre la agitacion del exterior y la del interior; y de aquí, como consecuencia, que las formas propuestas para los diques con objeto de aminorar los acarreos, suprimiendo la agitacion, son aventuradas y de una eficacia dudosa. Lo que se puede asegurar es, que la naturaleza de la costa contigua, determina más marcadamente que las demás causas, la cantidad de acarreos [116 y 134]: donde la compongan rocas duras y de formacion plutónica, como en la costa de Galicia, los puertos tienen escasa tendencia á cegarse, al paso que sucede lo contrario con los terrenos de sedimento y con las rocas blandas.

La primera consecuencia deducida de cuanto antecede es, que donde la mar no rompe, ó cuando las olas se mantienen en un estado oscilatorio, se debe procurar disponer las obras de manera que dicho estado se conserve, sin formar rompientes que son [57] los medios más poderosos de arrastre y de obstruccion de los puertos.

Ya desde ahora empezamos á prever que la forma de los diques tendrá grande influencia en los arrastres, y deberán desecharse, por este concepto, las que tiendan á disminuir la profundidad del agua. Por tal motivo, ya Raffeneau de l'Isle aconsejaba, hace más de cuarenta años, para disminuir los aterramientos en el puerto de Cette, construir las cabezas de los diques con paramentos verticales.

Además de las materias arrancadas á la costa por la rompiente, el mismo díque suministra en ciertos casos abundantes materiales para la obstruccion del puerto: en la informacion parlamentaria abierta en Inglaterra sobre los Puertos de refúgio, se consignan de ello numerosos ejemplos, de los cuales citamos varios [57] al tratar de las olas; hé aquí otros. En Donnagadee (Irlanda), fueron llevados grandes cantos á 27 metros de la cabeza, y uno de ellos, hasta el centro del puerto con 4 metros de agua: generalmente se pasaba el resto del año trabajando en reponer los destrozos causados durante el invierno. Otro tanto sucedió en Portrush, en donde 4.000 toneladas de piedra de la escollera, formaron en la entrada un arrecife de 23 metros de largo y 1 de alto sobre la plea. En 1842 se llevaban invertidas en Kingstown, en redosiciones de la piedra arrastrada, más de 200.000 toneladas, y lo mismo pasaba en Plymouth. En 1817 los materiales que componian un trozo de 200 metros de largo y 30 de ancho, fueron arrancados del rompeolas, y lanzados del talud exterior al interior del puerto, cantos de 2 y 3 toneladas. En 1824, el daño causado fué mayor; unos 730 metros quedaron desbaratados por completo, arrojando el mar, por encima del dique, al interior de la rada, muchos millares de toneladas de piedra: otras fueron arrastradas á 46 metros de distancia y amontonadas en el interior del puerto. La marcha de la escollera, ya en uno ya en otro sentido, determinó en Cherburgo la forma adoptada para las cabezas. Efectos análogos se observaron en Howth, Kinsgtown, Ardglas y otros puertos del Reino-Unido. Todavía habremos de insistir más sobre este punto, cuando estudiemos comparativamente los diferentes sistemas de construccion.

212. Influencia de las obras en las condiciones náuticas del puerto.— Se contraría tambien la condicion 2.ª dando al dique una forma tal, que la ola rompa: la rompiente destruye el fondeadero natural que de ordinario existe en la rada, delante de la obra ó en sus inmediaciones; ningun buque fondeará próximo á la rompiente ni á la agitacion que se hará sentir muy lejos; la rompiente producirá además, en el interior del puerto, resacas que alterarán su tranquilidad y la seguridad de los buques fondeados en él.

Se comprende cuán difícil debe ser la entrada, con mares gruesas, en un puerto precedido de una rompiente; los buques, para no caer en ella, abandonarán, temerosos de una avería, el verdadero rumbo, y acaso la entrada, que fuera fácil con otro sistema de diques, se hace difícil y en ocasiones imposible. Si con ciertos vientos ó en circunstancias accidentales, el buque se vé forzado á fondear antes de llegar á la boca del puerto ó en la misma boca, y la entrada depende de esta maniobra, le será imposible llevarla á cabo cuando la tranquilidad del mar sea sustituida por una agitacion irresistible. Entre varios ejemplos, recordaremos aquí el de un buque de 200 toneladas, arrastrado y lanzado por las olas hasta la cima del rompeolas de Plymouth.

Es patente la conveniencia de que un buque, al tomar un puerto, se atraque, cuanto le sea dado á los diques, que forman la boca, para asegurar su marcha y recibir los auxilios que desde aquellos han de prestarle; esta conveniencia sube de punto cuando el canal de entrada es estrecho, ó constituye un paso forzado al pié del dique. En un gran número de diques, mejor dicho, en todos los construidos recientemente en Inglaterra, las cabezas se proyectan en condiciones adecuadas para llenar esta condicion, cualquiera que sea el sistema de construccion de la obra. En el levantado para abrigar el puerto de Gijon, se recogió la cabeza, con notable detrimento del abrigo, para impedir que las piedras fuesen á obstruir la canal de entrada; á pesar de lo cual, todavía fué necesario recortar la escollera, dándola un talud menor del que le correspondia é insuficiente para la estabilidad, á fin de facilitar el acceso de los buques cuando les conviniese pasar arrimados á la cabeza.

En el proyecto formado por David Stevenson para el puerto de Sunderland, se proponen muros verticales para las cabezas; y las del rompeolas de Portland y del dique de Holyhead, se han construido bajo el mis-

mo sistema. Las de Portland tienen una longitud de 183 metros y una profundidad de 7 inferior á las bajas mares de agua viva. La cabeza del dique de Holyhead, terminada en Setiembre de 1873, tiene la forma de un martillo de 45 metros de largo por 15 de ancho, fundada sobre escollera á 8,50 metros de profundidad, á contar desde la baja mar. Muchos diques se han construido tambien, desde aquella época, bajo el mismo tipo, á partir de cierta profundidad. Entre ellos citaremos los de Greenock y Aberdeen en Inglaterra; Brest en Francia, Fiume en Italia, Kudstenjié en Turquía; Madras en la India; el Callao en el Perú, etc, etc.; cuyos procedimientos de construccion tendremos ocasion de detallar en otros capítulos.

213. Partes de que consta un dique. — materiales y forma.—Cualquiera que sea el dique, se compone ordinariamente de dos partes; una inferior á las bajas mares, que detiene las olas, las refleja ó las rompe; sobre ella se eleva otra, á la cual sirve aquella de cimiento, que defiende de las olas el interior del puerto. A veces suele ser esta parte una prolongacion del macizo inferior, pero generalmente es un macizo separado, desde el cual se presta auxilio á los buques que pretenden la entrada del puerto. La prolongacion de la parte inferior solo se practica en los casos siguientes: 1.° cuando la construccion de aquella es concertada (Dover): 2.° en mares poco agitados, en los cuales ocupa un reducido espacio la base de la obra, y el mar carece de mareas (Valencia). En todos los demás casos el sistema seria probablemente anti-económico.

Principiemos por estudiar los diferentes tipos en que deben agruparse las formas adoptadas ó propuestas para el perfil exterior de la parte sumergida de un dique, la más importante de las dos. Estos tipos pueden reducirse á cuatro: 1.° taludes de gran tendido, perteneciendo á este grupo todas las inclinaciones con la horizontal, desde 0.° á 45°. 2.° Taludes verticales; entrando en ellos los de pequeña inclinacion con relacion á la vertical (desde 0.° á 30.°) : 3.° perfil cóncavo : 4.° perfil convexo. Segun luego veremos, los dos últimos se asimilan, el 3.° al 2.° y el 4.° al 1.°

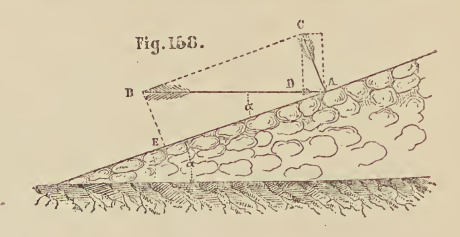
En cuanto á los materiales de que han sido construidos los diques hasta el dia son: 1.° piedra; incluyendo tambien en esta categoría á las escolleras los piedraplenes y los hormigones: 2.° madera: 3.° hierro. El 2.° se ha empleado ordinariamente en construcciones provisionales, en los andamios y en las obras auxiliares de la construccion de otros diques; y el 3.°, ha tenido

algunas aplicaciones muy recientes y limitadas, razones que nos obligan á tratar con más extension y á dedicar principalmente nuestras observaciones á los primeros, sin perjuicio de ocuparnos de los demás en los siguientes capítulos.

Aunque ya Bremontier habia consignado, desde principios de este siglo, la preferencia que, bajo el punto de vista de la accion desarrollada por las olas, debia darse á los paramentos verticales sobre los inclinados, y el coronel Jones expuso en la Sociedad de Ingenieros civiles de Inglaterra un sistema basado en el mismo principio, no se trató la cuestion ámplia y generalmente hasta la informacion abierta para el ensanche del puerto de Dover [61] y la creacion en él de un puerto de refugio. En ella se discutió bajo todos los aspectos que reviste, la forma que, en los diques, convendria dar al paramento expuesto al mar. Desde el principio de la discusion los Ingenieros se dividieron en dos bandos, partidario el uno de los grandes tendidos y el otro de los paramentos verticales; aunque, á decir verdad, el mayor número de los Ingenieros, no solo entre los teóricos, sino entre los que gozan de mayor fama como constructores, se decidieron por los últimos. Entre los primeros solo se cuentan de renombre los Rennies y los Stevenson; pero existia en ellos un motivo fundado para considerar sospechosa su opinion, porque casi todos los proyectos de diques de gran tendido, que de los informes de la Comision resultaban arrasados en poco tiempo ó notablemente maltratados, eran obra de aquellos Ingenieros; lo cual explica el empeño de sostener á todo trance, como preferible aquel sistema, con exclusion de los demás, cualesquiera que fuesen los resultados. En cuanto á Stevenson (Tomás), aunque se decide, como regla general, por los grandes tendidos, no se atreve á excluir por completo los muros verticales, admitiéndolos en circunstancias dadas, cuando el cimiento es sólido ó escaso el material disponible. Para defender la preferencia atribuida á los tendidos, se vieron precisados á admitir la existencia de las olas de traslacion, la de las olas de fondo del coronel Emy y la de otros fenómenos no comprobados ó muy dudosos por lo ménos, que forman la excepcion y no la regla general.

214. Esfuerzos de la ola contra un dique.—Expondremos aquí las razones de los partidarios de los grandes tendidos contra los defensores de los paramentos verticales, discutiendo este punto independientemente de la cuestion económica ó de coste.

El esfuerzo normal de una ola BA chocando horizontalmente contra un talud ó paramento inclinado es, segun Stevenson, (fig. 158);



$$(1) \quad AC = k\,v^2\,sen^2\,\alpha$$

cuya componente horizontal está representada por

$$(2) \quad AD = k\,v^2\,sen^3\,\alpha,$$

cuando contra el muro vertical hubiera sido

$$(3) \quad BA = k\,v^2\,\alpha.$$

Dejemos aparte los resultados obtenidos por Bremontier, poco decisivos en verdad, el cual deduce de sus experimentos que la máxima accion de las olas conviene á una inclinacion de 22°-30′ con la horizontal; disminuyendo desde aquella inclinacion, en uno y en otro sentido. Haremos observar, antes de pasar adelante: 1.° Que no se descubre la razon de la segunda descomposicion, segun la horizontal, de la fuerza, que produce el choque; el efecto de este es solo el de conmover ó desagregar la masa, y se ejerce en uno y otro caso normalmente á la superficie del dique, porque no se trata aquí de movimientos de las piedras en el sentido horizontal. 2.° Que la ola no actúa como una corriente cuyo esfuerzo se descompone de aquella manera; el movimiento de la masa fluida se perturba cuando la ola está próxima á romper [51], y toda ella se desploma cayendo de la altura de la ola y chocando de la misma manera contra el paramento vertical ó inclinado del muro. 3.° Que no se tiene en cuenta la fuerza de arrastre á lo largo

del tendido, de la corriente producida por la ola al romper, cuya velocidad es, en el momento del choque disminuye hasta reducirse á cero en el punto en que retrocede la ola.

$$(4) \quad A\,E = v \cos\alpha.$$

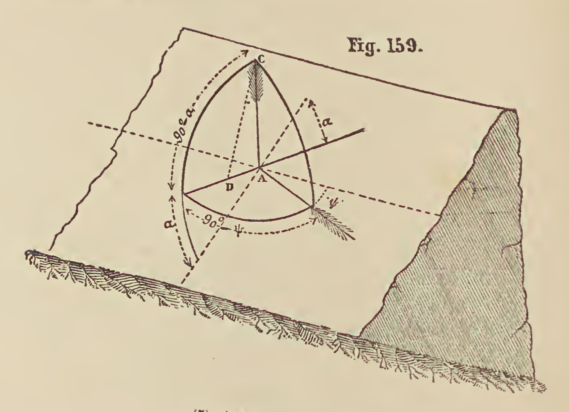
Los que dan la preferencia á los grandes tendidos afirman, partiendo de las fórmulas anteriores, que el esfuerzo de las olas se rebaja por la inclinacion en una proporcion enorme; consecuencia que, aun prescindiendo de las anteriores observaciones, sería admisible sólo para las olas rotas comparadas entre sí, pero no para éstas comparadas con las oscilatorias. Al establecer la comparacion, se ven forzados á negar el estado oscilatorio de las olas y á suponer en su masa un movimiento de traslacion: de esta manera comparan un choque con otro de distinta naturaleza, y, tomando como exactas las fórmulas establecidas, deducen una ventaja exagerada en favor de los grandes tendidos.

Si, al mismo tiempo que el choque, se toma en cuenta la componente *A E*, á lo largo del plano inclinado, la cual determina la fuerza de arrastre, habrá una inclinacion (22°-30′ segun Bremontier) para la cual será un máximo el efecto total de la ola rota, y desde allí disminuirá hasta cero en un sentido, y en el otro hasta aquella inclinacion con la cual la ola ya no rompe. Pero si las olas fuesen oscilatorias en un caso y rotas en otro, la comparacion no es posible, segun queda demostrado [61]. Un razonamiento al absurdo demuestra lo falso del argumento basado en la fórmula; pues, segun ella, si el suelo fuese horizontal, la accion de la ola debiera ser nula sobre el fondo, y sabido es que esto no sucede. El verdadero modo de examinar la influencia del tendido, habria sido estableciendo dinamómetros en distintas situaciones de inclinacion, profundidad, etc., y la comparacion de los resultados con los obtenidos contra planos verticales daria la relacion buscada, en la parte que se refiere al choque, aunque siempre quedaba en pié la cuestion de arrastre, no acusada por el dinamómetro. Ya vimos [61] que Stevenson pretendió hacerlo así, pero que sus resultados no son admisibles.

Rendel cita un hecho curioso relativo á los efectos del mar sobre las superficies inclinadas y verticales respectivamente. Para la construccion del dique de Mull-Bay levantó un andamio en diez y seis metros de pro-

fundidad en baja mar: el andamio se estaba arriostrando y reforzando con tornapuntas cuando sobrevino un temporal antes de terminar la operacion, resultando haber padecido más la parte ya terminada que la no arriostrada, á pesar de hallarse ésta más afuera y ménos segura que la otra. Se observaron iguales resultados en varios temporales, y que la mar chocaba con más fuerza contra las riostras que contra los piés derechos; en vista de lo cual, se suprimieron las tornapuntas, y el andamio no volvió á padecer ninguna avería. Ejemplos parecidos se han citado al tratar de las olas [61], y aquí añadiremos sólo uno, el de las cabezas de los diques de Portland, en las cuales las olas oscilan suavemente, al paso que rompen furiosamente sobre el cuerpo del rompe-olas.

Cuando el choque contra el dique no es directo, sino oblícuo, la fórmula se modifica así, (figura 159),



$$(5)\quad A\ D = k\ v^2\ sen^3\ \alpha\ sen^2\ \psi$$

para el choque; pero tambien á ésto debemos oponer que la ola, al chocar oblícuamente contra un obstáculo, se pliega á él, viniendo en definitiva á chocar casi normalmente; si bien es cierto lo hace de una manera sucesiva, y no en toda la línea de la ola á la vez.

Procede hacer aquí igual observacion que en el choque normal, pues

no se tiene en cuenta, para la fuerza de arrastre, la componente longitudinal, deduciendo así la consecuencia absurda de que es tanto mayor el arrastre cuanto más normalmente choca la ola. Tambien habrá, tenido todo en cuenta, un ángulo comprendido entre 0° y 90°, no determinado aún por la experiencia, para el cual sea un máximo el efecto del arrastre combinado con el choque.

Por último, se dice que el ingeniero debe imitar en los diques lo que hace la naturaleza para proteger las costas, dándoles, como en éstas, un perfil múy inclinado. Si los materiales que componen los diques fuesen de tan pequeño volúmen como los de las playas y colocados al acaso por la fuerza del mar, no podria adoptarse, indudablemente, para obtener la estabilidad, otro perfil que el tendido: pero esto no es aplicable á materiales de grandes dimensiones, concertados y trabados entre sí por un cemento, formando una masa contínua. En cuanto á las escolleras, se debe notar, que los materiales arrastrados en las costas son reemplazados por otros, al paso que en los diques no queda otro recurso que reponerlos artificialmente. Casos numerosos de estos arrastres [57 y 211], demuestran cuán extraña cosa es asemejar un dique de escollera á una playa.

Los que han defendido la preferencia dada á los paramentos verticales, no han negado hubiese choque contra ellos [61]; uno de los más ardientes defensores, el profesor Airy, autor de una teoría de las olas fundada en el movimiento orbitario, ménos que nadie podia negar el choque; pero sí niega que dicho esfuerzo equivalga al que las olas al romper ejercen contra el dique ó la playa; y cualquiera que haya vivido algun tiempo en puerto de mar, no podrá persuadirse que una ola oscilante desarrolle mayor empuje que la misma rota.

215. Resultados del choque.—Hé aquí cuáles son los efectos de una ola al romper contra un obstáculo: 1.° El choque directo de la masa de agua conmueve las piedras y destruye el mortero, cuando están trabadas por él. 2.° La ola obra como un arriete ó una prensa hidráulica, por el intermedio del agua que ocupa los huecos que separan las piedras en la escollera, ó las juntas de donde ha sido arrancado el mortero en una fábrica concertada. La presion de dentro á fuera saca, por este medio, de su asiento, los cantos ó los sillares. 3.° El aire sin salida, encerrado por la ola dentro de la escollera, obra enérgicamente por su fuerza clásica. En el dique de Cherburgo, donde se abrieron agujeros para comprobar los dos esfuerzos

de esta clase, el surtidor se elevaba á 27 metros. El aire y el agua reunidos actuando sobre una capa del hormigon de un metro de espesor y al través de un grueso macizo de escollera, la levantaba y hendia en muchas partes. Y por último, en Argel, durante las tempestades, no se podia transitar (en 1857) por los chorros de grande altura que saltaban al través de las cavidades del macizo. 4.° La ola, despues de romper, corre á lo largo del talud hasta perder su fuerza, elevándose los cantos removidos por el choque y luégo los arrastra descendiendo, precipitando su marcha hasta el pié del talud, que escava, dando orígen á nuevos deterioros. El retroceso de la ola lo consideran muchos ingenieros más perjudicial que el mismo choque, y le atribuyen más todavía que á éste la ruina de varios diques de escollera. La forma ordinaria de estas obras se presta á favorecer su destruccion, observándose en ellas efectos más enérgicos aún que sobre las playas contíguas, sin duda por ser el talud en aquellas más próximo que el de éstas al que Bremonsièr señalaba como de máximo efecto [214]. Así sucede en Plymouth, en donde las resacas son de las mayores conocidas. 5.° Por último, el vacío que deja la ola al retroceder acasiona una contra-presion del interior del macizo hácia afuera. Walker, cita un ejemplo notable de este fenómeno ocurrido en el faro de Eddystone durante un temporal del año 1840. La puerta de la torre asegurada contra el choque de las olas por fuertes cerrojos, fué abierta violentamente hácia afuera, arrancando la cerradura y rompiendo los goznes.

En un muro de paramentos verticales, con suficiente profundidad al pié para que las olas permanezcan oscilantes, su accion proviene: 1.° De la presion estática correspondiente á la altura de la ola. 2.° Del choque producido por el movimiento orbitario de las moléculas oscilantes. 3.° De la compresion del aire que la ola encierra al chocar contra el muro. 4.° De la contra-presion del aire detrás del macizo por el vacío que la ola deja al retirarse. Estos efectos nos servirán más tarde á establecer las bases de la comparacion con los diques del grupo anterior.

216. Perfiles curvos.—El perfil curvo ha sido recomendado por Emy, Scott-Russell, Stevenson y otros ingenieros; algunos de ellos proponian adoptar la cícloide como la curva más conveniente, por ser la de mínimo descenso y la que se adapta al perfil ordinario de las costas. Mientras aquellos ingenieros citan ejemplos de muros de esta forma que han resistido bien el embate de las olas, los adversarios presentan otros que los contradicen.

de diques atacados y destruidos por ellas. Las circunstancias no son bastante conocidas para decidir si la forma ha influido en la conservacion, en unos casos, ó en la destruccion en otros; lo que se sabe es, que hasta ahora no hay muros de este perfil fundados en gran profundidad de agua; de manera, que las consecuencias deducidas de los ya construidos, son aplicables sólo á las olas rotas, las cuales dan, en efecto, á la costa la forma cóncava, que sirve de apoyo á los defensores del sistema. En suma, el perfil cóncavo que transforma gradualmente en vertical, la velocidad horizontal de la masa de agua que compone la ola, debe ser ventajoso á la conservacion del muro; y en esta confianza, se habia construido con buen éxito por el año de 1822 en la Trinidad, cerca de Edimburgo, un muelle en el cual entraban sólo materiales de pequeña dimension.

No se conocen resultados relativos á muros de esta forma levantados en puertos en que la mar no rompa, aunque se comprende sea su efecto muy parecido al de un muro vertical, porque en la parte inferior, el perfil gana muy poca altura sobre el fondo y es débil su influencia para hacer romper la ola; en el resto, el talud es muy pequeño y semejante, para el efecto, á un paramento vertical.

En cuanto al perfil convexo, propuesto por Scot-Russell como el mejor en ciertos casos, los términos en que este ingeniero se expresa, son bastante oscuros y hasta contradictorios. A este ingeniero se le cuenta, aunque sin razon, entre los partidarios de las escolleras: admite lo que llama *olas de traslacion* [57] y dice: «esta masa de agua no puede ser evitada ni sepa-»rada de su camino, siendo forzoso detenerla; para ello debe oponérsela »una masa más pesada que la ola y tal, que no pueda vencerla. Con esto, »ó las olas saltan por encima del obstáculo y dan lugar, dentro del puerto, »á otras nuevas, ó rompen contra sí propias retrocediendo, lo cual exige »una fuerza enorme, ó son reflejadas por entero, y esto requiere quizás la »mayor fuerza de todas.»

«Lo mejor de todo, sería *reflejar la ola, para lo cual nada más apropósito »que un muro vertical;* pues mientras resista, el interior del puerto se con-»servará tan tranquilo como un estanque; *porque la reflexion convierte todo »el efecto de la ola contra ella misma y la reduce á una presion.* Cuando una »ola es reflejada por un muro vertical, *sólo produce una presion algo mayor »que la altura de aquella,* de tal modo, que una ola *(roller)* de 7 metros de »altura, puede ser reflejada por un muro vertical de pequeño grueso.»

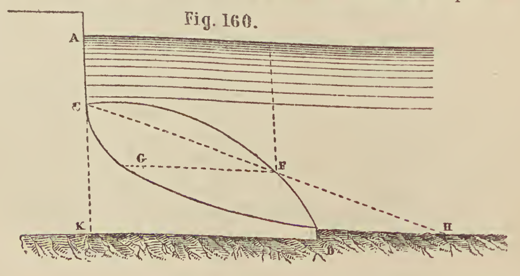
Continúa luego examinando si bajo el punto de vista de resistencia, no seria mejor dar al muro un talud próximo á 45° que, reflejando igualmente la ola, permita el aprovechamiento de materiales más baratos.

Antes de continuar, séannos permitidas algunas reflexiones acerca de la opinion emitida. Scott-Russell afirma que el reflejar la ola *(roller)*, seria lo más difícil de todo; y luego, que para lograrlo con una de las mayores olas, es suficiente un muro de pequeño grueso. Tambien se le considera partidario de los grandes tendidos y se invoca su opinion en apoyo de ellos, aunque en las frases copiadas, da la preferencia al perfil vertical, y supone que la ola solo ejerce sobre el muro una presion, no un choque.

Continúa Scott-Russell de esta manera. «Cuando no es posible reflejar »la ola, se apela al recurso de romperla; para ello conviene redondear el »pié del rompe-olas adoptando la forma convexa. El objeto es hacer que el »frente de la ola principie á romper en el primer momento lo más distante »posible. Conviene que la ola rompa en el agua, no contra la escollera, lo »cual se consigue con la convexidad dada que obliga á las olas á romper »en gran profundidad.»

Tambien aquí se observan contradicciones; el objeto de la forma convexa, parece ser el obligar á las olas á romper lo más lejos posible del dique; pues bien, rompiendo con una profundidad de agua determinada, más pronto y más lejos del dique romperán con el paramento cóncavo en unos casos, reclíneo en otros, que con el convexo. No será dado reflejar la ola cuando esta cese de ser oscilante ó se acerque á este límite; y en tal caso, mayor masa de agua sobre que romper habrá entre ella y el dique con el perfil vertical ó cóncavo. Si ha pretendido decir, que al llegar la marca al nivel $A\,B$ (Fig. 160), siendo $E\,F$ la profundidad máxima en que rom-

Fig. 160.



pe, la ola romperá con el perfil convexo en F, y con el cóncavo en G, sobre el mismo muro, hacemos notar: 1.° Que siendo vertical el paramento la ola no hubiera roto. 2.° Que á medida que la marea sube, deja de romper, así en el perfil vertical como en el cóncavo, y el punto de rotura se acerca en el convexo cada vez más al pié del muro. 3.° Que para la cuestion de asientos y destruccion de la obra, lo mismo dá que la ola rompa directamente sobre el muro, que sobre su cimiento de escollera. Para lograr que la ola rompa á una distancia determinada del pié del muro, habria de fundarse este á la distancia señalada del punto más cercano á aquel en que la ola rompa en el trascurso de una marea, lo que daria un perfil absurdo por la enorme masa de material que absorberia.

Es cierto que la forma definitiva de las escolleras es aproximadamente la de un perfil convexo; pero resulta naturalmente de los distintos esfuerzos del mar contra la obra desde la baja mar hasta el fondo, así como resulta la cóncava desde aquella línea hasta la plea, sin que sobre este hecho haya motivo para fundar una teoría.

Scott-Russell teme tanto el esfuerzo de las olas rompiendo sobre el dique, que propone para dividirlas un sistema de parrillas, que más adelante describiremos. En resúmen, Scott-Russell prefiere el perfil cóncavo cuando las olas son oscilantes, y un macizo de escollera cuando rompen. Al comparar entre sí los diferentes sistemas de diques, daremos un extracto de la opinion de aquel ingeniero poco conocida y mal interpretada.

Segun la opinion de Scott-Russell, este ingeniero dá la preferencia á los paramentos verticales (considerando como tales á los que forman con la vertical un ángulo menor de 30°), cuando las olas no rompen, y establece como principio que los paramentos de las cabezas habrán de pertenecer siempre á este tipo, como igualmente los interiores en el resto del dique. Cuando la ola rompe, entonces el tendido no habrá de llegar al fondo, y deberá presentar aberturas que dejen paso al agua y dividan la fuerza de las olas.

217. Coronacion de un dique. — Estudiada la forma transversal de los diques, en su parte inferior, conviene ahora decir algo de la coronacion: 1.° Cuando se adopta la forma de gran tendido, este puede continuarse hasta la coronacion del dique, segun se ha practicado en Plymouth (lám. 2.ª, fig. 1.ª). La violencia que entonces llevan las olas al romper es

tan grande, que suben por encima del dique y caen al otro lado del puerto en masas enormes, produciendo agitacion en el interior é interrumpiendo el tránsito por la ealzada. Este sistema es en general poco económico en los puertos de marea, y en los que la violencia del mar obliga á dar un gran tendido, porque absorbe un cubo exagerado de materiales. En los sitios abrigados en donde la mar se hace sentir débilmente, y en aquellos puertos que carecen de mareas, suele aplicarse el sistema con más ventaja, segun ha sucedido en Valencia (lám. 2.ª, fig. 2.ª). En los diques de este puerto del Mediterráneo el talud es casi de 45°, y el espaldon de defensa sirve á la vez para convertir el dique en muelle de carga y descarga. Otras veces el espaldon consiste en un macizo de fábrica, como en Marsella, reducido en algunos casos á un pretil sencillo.

En los puertos de mareas, la coronacion consta de dos partes: es la inferior un macizo rectangular de fábrica, que se eleva desde la baja mar hasta quedar por encima de las más altas pleas mares. Un segundo cuerpo de fábrica, ya macizo, ya abovedado, forma un espaldon y anden, defendido además por un pretil. Cuando el espaldon se construye abovedado, se utilizan los huecos como viviendas ó abrigos para los empleados en el servicio del puerto, y almacenes para guardar los efectos destinados al salvamento de los buques ó á conservar los géneros y mercancías al abrigo de la intemperie; y, por último, en los puertos militares sirven para el establecimiento de las baterías de defensa. El tipo de estos diques está representado por el de Cherburgo (lám. 2.ª, fig. 5.ª).

Otras formas, de que presentamos ejemplos en la lámina 2.ª, son ménos racionales que las mencionadas: sucede tambien, como en Marsella, que el pretil se coloca por el interior del espaldon, sin que se alcance la ventaja de semejante disposicion.

En los diques de paramentos verticales tambien se prolongan estos hasta la coronacion, segun se ha hecho en Kilrush y Dover (lám. 2.ª, figura 6.ª); pero al reflejarse la ola toma el rocion una altura tal, que parte del agua es lanzada sobre el parapeto, y alcanza á veces al interior del puerto. Para evitarlo, se acostumbra dar al paramento exterior (como en Dover, Gijon y Rivadesella) una curvatura en sentido inverso, que algunos creen perjudicial, por lo enorme del esfuerzo vertical de la ola [62] que arrastra cuanto se la opone. Sin embargo, una curva de gran rádio, y de pequeña amplitud, cumple con el objeto deseado sin oponer gran resistencia.

Hechas estas indicaciones generales, que se ampliarán al tratar de la construccion de los diques, vamos á examinar en la misma forma el trazado longitudinal.

218. Forma longitudinal de los diques.—Un dique se compone longitudinalmente de un macizo de seccion uniforme, terminado por dos *cabezas* ó *morros* cuando se encuentra, como en Cherburgo y Plymouth, aislado enmedio del mar; ó por una sola cabeza si arranca de tierra; este último caso es el más general. La mayor dimension que se da á las cabezas llena varios objetos: 1.° Reforzar las extremidades, que son las partes más débiles de la obra, porque sobre ellas ejercen las olas un esfuerzo mayor, por convertirse en olas de traslacion al ser parcialmente interrumpidas en su marcha [51 y 57]. 2.° Forman la boca del puerto, y deben tener la amplitud suficiente para colocar la gente y practicar las maniobras necesarias al salvamento de los buques que pretendan la entrada en los temporales. 3.° Tambien debe contarse con el espacio ocupado por las luces del puerto, y por las baterías de defensa cuando el puerto es militar. Por todas estas razones, es indispensable en esta parte un ensanche que no se da al cuerpo del dique.

Las condiciones á que debe satisfacer el trazado general del dique son las siguientes: 1.° Ha de impedir la transmision al interior, de la agitacion exterior, especialmente de la marejada y de las resacas. 2.° Debe ser tal que en la proximidad del dique, sobre todo en aquellos puntos por cuya inmediacion pasan los buques en su derrota, se produzca la menor agitacion posible y la arroje, siempre que las circunstancias se presten á ello, sobre puntos aislados donde no sea perjudicial. 3.° Que la obra oponga el máximo de resistencia, á la vez que disminuya los esfuerzos contra ella.

Si consideramos la ola rota y chocando normalmente con el paramento rectilíneo, este se encuentra en las peores condiciones de resistencia; la agitacion será la mayor, y toda la línea de la ola chocará con su enorme masa contra el muro. Además, el aire que encierra [210] obra por su fuerza elástica sobre el muro, y, no encontrando salida, aplica contra él todo el esfuerzo de que es capaz. Aunque ocupa en este caso la más desfavorable situacion, es, sin embargo, conveniente en las escolleras, porque los arrastres serian incesantes [205] si la ola chocase oblícuamente contra el dique.

Cuando el muro resiste oblícuamente á la ola, esta se ciñe progresivamente á él, es sucesivo el choque, y el aire puede escapar lateralmente:

en cambio es mayor la fuerza de arrastre en el sentido longitudinal. Resulta á veces, cuando el dique se proyecta á alguna distancia de la costa, que los cambios en la direccion del viento traen consigo variacion en la de las olas, y, aunque proyectado oblícuamente respecto de ellas, llegan á chocar normalmente contra el macizo en toda la longitud del dique. Esto no puede suceder, cualquiera que sea la direccion del viento, cuando el muro es convexo; y goza esta forma de diques, en todos los casos, de la ventaja de los muros oblícuos, al mismo tiempo que la forma convexa de la obra opone mayor resistencia á los embates del mar.

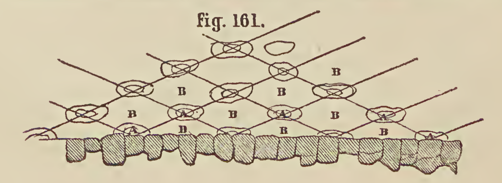
Por el contrario, con la forma cóncava, si bien el choque se verifica en un solo punto para cada instante (lo cual les da por este concepto ventaja sobre los muros rectos), en cambio, el aire encerrado entre el mazo y la ola no encuentra fácil salida, y acumulado en grandes masas en la parte más entrante, reobra contra el muro, produciendo sobre él efectos desastrosos.

Si las olas no rompen, el muro paralelo á ellas recibe tambien en toda su longitud un choque, equivalente á una columna de agua de doble elevacion que la ola. La fuerza elástica del aire encerrado es aquí muy pequeña, segun se desprende de la forma que toma la ola al chocar con el muro, muy diferente de la del caso en que rompe. A veces el viento sopla con fuerza bastante para hacer perder á la ola su forma natural, y aun para descabezarla, pero el cual no da una masa de aire suficiente á producir efectos tan enérgicos como en la ola rota.

La agitacion tambien está en su máximo y toma la forma de ondulaciones paralelas al muro, cuyas alturas resultan del encuentro de las olas directas con las olas reflejadas; y si el agua fuese un fluido perfecto, la agitacion seria la misma á cualquiera distancia del muro; pero las resistencias amortiguan la fuerza de la ola y su elevacion, de lo cual resulta una disminucion en la resaca á medida que nos alejamos del muro.

Supongamos el paramento oblícuo (fig. 161); la presion sobre él será

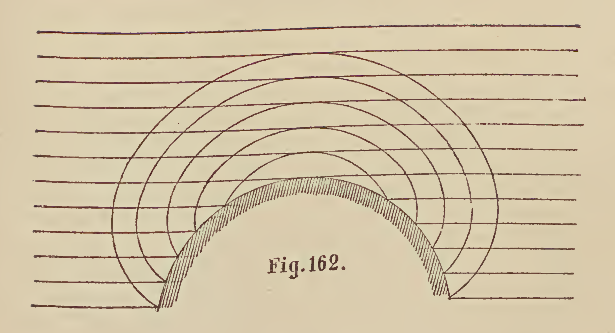
Fig. 161.



menor que en el caso anterior, pues solo en puntos aislados alcanza aquel nivel; la presion media resulta igual á la del agua en reposo, pero se encuentra desigualmente repartida. En cuanto al efecto del choque, obtendremos resultados análogos á los de las presiones.

Tambien es menor que en el caso anterior la agitacion delante del muro; el encuentro de las ondas directas con las reflejadas forma (fig. 161) en planta una serie de rombos rectilíneos, en vez de líneas contínuas de máxima y mínima altura; los vértices *A* son los puntos de mayor elevacion, y el centro *B* del rombo, los de depresion máxima; los puntos medios de los lados están á la altura ordinaria de la ola. En este caso, como en el anterior, la agitacion seria la misma á cualquiera distancia del muro; pero las resistencias hacen decrecer la agitacion á medida que se alejan de él las olas reflejadas.

Cuando el muro es convexo, además de las ventajas sobre un muro recto, inherentes al choque oblícuo, que siempre conserva para cualquiera direccion del viento, los rombos son curvilíneos y van ensanchando hácia el centro del dique (fig. 162), de manera que la presion media y la agitacion

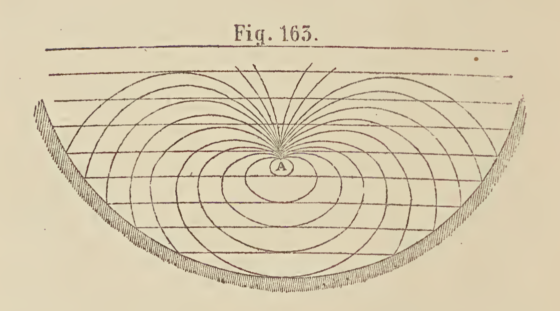

Fig. 162.

son menores que en el choque oblícuo, y tanto menores, cuanto mayor es la distancia al paramento. Lo mismo que en el caso de las olas rotas, subsis-

te tambien aquí la ventaja de la mayor resistencia por la forma convexa. La agitacion disminuye á medida que nos alejamos del dique, por la mayor extension que toman los rombos, agregando á esta disminucion la que es resultado de las resistencias.

Por último, en la forma cóncava sucede lo contrario; las líneas reflejadas sucesivamente van á reunirse (fig. 163) en la parte central en un espacio reducido, formando un centro de grande agitacion y elevacion de la masa que á veces no puede mantenerse y rompe en la parte superior. Por este motivo debemos proscribir esta forma de dique en la proximidad de la boca ó fondeadero, y en general, de aquella zona por la que deban transitar los buques. Es, sin embargo, muy conveniente, cuando se desea localizar ó dirigir la accion de las olas sobre puntos determinados é impedir su transmision. La gran masa de agua acumulada delante del muro, le sirve al mismo tiempo de defensa y rompe la fuerza de las olas directas. Si la forma cóncava se convierte en un ángulo entrante, el punto de máxima agitacion se traslada al vértice, y esto explica la grande elevacion de los surtidores ó la grande altura del rocion en los ángulos entrantes, contribuyendo á aumentar los malos efectos, el aire encerrado sin salida dentro del ángulo.

Fig. 163.



De todo lo dicho resulta: 1.° Que la forma general convexa es la más apropiada para los diques. 2.° Que en algunos puntos del dique convendrá

adoptar la cóncava. La forma curva presenta, sin embargo, el inconveniente de prestarse á la desviacion gradual de las olas [114], que pueden, de esta manera, correr á lo largo del dique hasta las cabezas y de allí penetrar en el interior del puerto. Para evitarlo, cuando esto sea de temer, se suele establecer en la cabeza un martillo como en el puerto de Holy-Head.

El ingeniero Bellinger ha hecho aplicacion de la anterior teoría al trazado de los diques. Supongamos, como ejemplo (fig. 164), que se intenta esta-

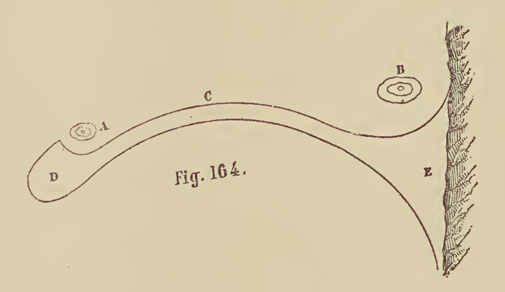


Fig. 164.

blecer un dique *A B* que arranque de tierra, dándole la forma de la figura, y tendremos la mayor agitacion concentrada en *B* donde la direccion de la costa se presta á aumentar á poco coste el espesor y por lo tanto la resistencia del macizo. En el estremo opuesto *A*, se interrumpe la transmision gradual, aprovechando el ensanche de las cabezas y formándose un segundo centro de agitacion *A*, ménos extenso que el primero, pero que no se trasmite á las cabezas. Los resultados obtenidos en el puerto de Gijon, aplicando esta forma, han sido excelentes, y todavia hubieran sido mejores, si á las cabezas como en Holy-Head, Sumderlaud y Portland se les hubiese dado un paramento vertical hasta el fondo. Esta forma es además ventajosa para la defensa del puerto, porque permite establecer en la parte saliente baterías que crucen sus fuegos delante del dique.

Si este fuese aislado, entonces no habria más que reproducir simétricamente del lado opuesto la mitad exterior de la figura.

219. Cabezas ó morros.—En el trazado de las curvas de la cabeza se debe procurar no sea esta tan reducida que la agitacion, á que dá orígen la parte cóncava, se transmita al canal de entrada, ó á la línea que marca la ruta de los buques; ni tan extensa, que en ella tenga la ola espacio suficiente para desviarse de su direccion y penetrar en el puerto por desviacion gradual [114]. Con objeto de disminuir la transmision, han propuesto algunos ingenieros sustituir la forma curva con la poligonal; los ingenieros ingleses tienen predileccion por la forma adoptada para las cabezas de los diques en Kingstown, que han reproducido en varios puertos, como Port-Patrick, Howth y otros. Consiste (lám. 2.ª, fig. 9.ª) en un martillo saliente hácia el interior de la boca, lo cual, además del obstáculo peligroso para la entrada, equivale á llevar la cabeza á la extremidad del martillo. En la misma lámina puede verse algun dique de forma inusitada, y otros que no satisfacen á los principios antes establecidos.

Si el dique estuviese aislado, las dos cabezas deberian tener la forma de la *A* (fig. 164). Los diques de Cherburgo y de Plymouth, tienen alguna analogía con aquella forma, y los resultados son parecidos, por más que los motivos de adoptarla sean diferentes de los aquí expuestos. En Cherburgo se quiso evitar la destruccion del dique por la marcha de la escollera á lo largo de él; era además forzoso establecer baterías que, para la defensa del puerto, cruzasen sus fuegos con los fuertes. Iguales resultados se habrian obtenido, amoldándose en un todo á la forma propuesta por Bellinger.

Lo que resta por decir de las formas de los diques, se reserva para los capítulos relativos á la construccion.

220. Diques interrumpidos.—Debemos hacer aquí algunas indicaciones acerca de una forma particular de diques, muy ensalzada por algunos ingenieros, sin que ninguno se haya atrevido á ensayarla. Los diques interrumpidos, de que en otra ocasion [153] hemos tratado, segun sus panegiristas, conservan la agitacion en el interior del puerto, las corrientes no se interrumpen y los depósitos, cuando se forman, son por ellas arrastrados fuera. Fazzio fué quien con más calor ha defendido el sistema, y describe, en corroboracion de su tésis, muchos puertos construidos por los romanos.

Los ejemplos que cita son bastante dudosos y se fundan en datos un tanto inciertos; aun hoy, en que el arte de construir está á mayor altura

que en los tiempos de la dominacion romana, se considera muy difícil el fundar, en grandes profundidades, bóvedas que, sin interrumpir el tránsito sobre el dique, dejen ancho campo á las corrientes litorales. Si los diques eran entonces interrumpidos y compuestos de trozos aislados (segun se intentó en Cherburgo), las corrientes y resacas en las aberturas serian muy violentas y comprometerian la seguridad de la obra. Además, el choque de la ola contra las bóvedas, deberia ser causa de su próxima ruina. Así, resulta no quedar una en pié, de las obras que se citan, ni siquiera se conservan de ellas restos notables.

Tambien, lo que en aquellos tiempos era fácil empresa, es hoy en extremo difícil; y lo demuestra, el que Vitruvio considera aplicable el sistema de ataguías, que hoy ningun ingeniero se atreveria á emplear para construir un dique. En efecto, se trataba entonces de la construccion de obras en un mar relativamente tranquilo, cual es el Mediterráneo respecto del Océano, sin mareas, cuando en nuestros puertos del Norte suben á 4 y 5 metros, á 6 y 8 en la costa francesa, y á más en algunos puertos de Inglaterra; el calado, reducido en los puertos de la antigüedad á 2 ó 3 metros, sube en los puertos modernos, cuando ménos, á 6: muchos de aquellos, por su poco calado, fueron abiertos á brazo [205]. Júzguese, despues de lo dicho, si es posible emplear hoy el sistema de diques interrumpidos, aun suponiendo, segun pretende Fazzio, que los romanos no conociesen otro [209]. El mucho tiempo transcurrido desde su construccion y ruina, no permite apreciar las modificaciones que ha sufrido el fondo del mar, ni á qué debe atribuirse el conservar dichos puertos un gran calado, cuando vemos cegados é internados tierra adentro algunos de ellos, y otros tambien en los cuales no se ha levantado ninguna construccion. Ostia, cuyos diques fueron cimentados como Fazzio desea, se cegó rápidamente [208], y fué abandonado por Civitta-Vechia.

No se conocen ejemplos recientes en que apoyarse para demostrar la conveniencia y posibilidad de interrumpir la línea de diques; fábricas de esta naturaleza son casi imposibles en grandes calados, y en pequeños, las olas batirán con tal furor las bóvedas de abajo arriba, que muy poco tiempo resistirian á su empuje.

Es indudable, que toda disminucion en la agitacion del mar, lleva consigo el depósito de las materias mantenidas por el agua en suspension, que se precipitan al fondo, con tanta más rapidez y en tanta más abundancia,

cuanto mayor sea la diferencia entre la agitacion exterior y la interior; de tal modo, que una reduccion en los depósitos, solo puede comprarse á costa de una tranquilidad menor. Se dirá, y con razon, que la agitacion del mar es independiente de las corrientes, y ellas, y no la marejada, producen los transportes de arenas que ciegan los puertos; pero se debe notar que, á ménos de una violenta corriente que socave el fondo, se requiere para arrastrarlas una agitacion tal en las aguas, que suspenda las materias transportadas; de otro modo, solo las corrientes del fondo producirian los arrastres, para lo cual se requiere sean de una fuerza tan poderosa, que rara vez existen en las costas abiertas. Los distintos grados de agitacion del mar hace además imposible proporcionar los claros á la agitacion, pues si se determinan, como es natural, por la tranquilidad que deba darse al puerto durante los temporales, habrá falta absoluta de movimiento en los tiempos bonancibles, es decir, en la mayor parte del año, y el puerto se cegará. Si se deja la agitacion suficiente en los tiempos ordinarios, quedará el puerto desabrigado en las tempestades. Pudiera salvarse este inconveniente por el establecimiento de compuertas que se cerrasen más ó ménos segun el tiempo, sistema costoso y de difícil aplicacion, propuesto por varios Ingenieros, y aplicado, con un objeto parecido, en la desembocadura del Adour [153].

Las condiciones para que un puerto no se ciegue, dependen, más que de las obras, del régimen de las costas contíguas [116]; así, vemos que fatalmente desaparecen aquellos puertos situados en costas que ganan sobre el mar: la mano del hombre no abarca líneas tan dilatadas, y sus esfuerzos sobre puntos aislados, son absorbidos en la causa general que determina el régimen de la costa.

Las aberturas en los diques serian en muchos casos más bien perjudiciales que útiles; la agitacion exterior mantiene en suspension mayor cantidad de detritus que en el interior, y la marea, subiendo más rápidamente fuera del espacio abrigado por el dique, produce en los boquetes una corriente, que lleva al interior las materias en suspension. Por el contrario, en el descenso, la corriente se establece en sentido inverso; pero como no existe agitacion que levante de nuevo los acarreos ya depositados en el fondo, no son llevados fuera. Por último, las corrientes violentísimas cerca de los boquetes, disminuirian rápidamente de intensidad, paralizando su accion, y solo en la proximidad de aquellos se mantendria limpio el fondo, precisa-

mente en los parajes en que, por lo violento de las resacas, los buques no pueden fondear; resultando así, disminuida la extension efectiva del puerto, sin ventaja marcada para el resto.

Tales son las reflexiones á que se presta este sistema, encaminadas á poner en guardia á los ingenieros contra la moda ó la novedad; sobre todo lo dicho está la experiencia, que habrá de fallar en último término, como en todas las ciencias de aplicacion.

CAPÍTULO XII.

DIQUES DE ESCOLLERA.

RESUMEN.

221. Escolleras.—222. Ventajas del sistema concertado.—223. Comparacion entre las escolleras formadas con cantos de grandes y pequeñas dimensiones.—224. Forma definitiva de las escolleras.—225. Composicion de un macizo de escollera.—226. Ventajas é inconvenientes de la escollera.—227. Organizacion de los trabajos en las canteras y trasporte de la piedra.—228. Descripcion de la grna de equilibrio constante.—229. Organizacion de los trabajos para la construccion de un dique.—230. Conduccion de la piedra por el mismo dique. Dique de Valencia.—231. Por medio de andamios. Diques de Holyhead y de Portland.—232. Conduccion de la piedra por mar. Embarcaderos de báscula—233. Embarcaderos fijos.—234. Gabarras.—235. Inmersion de la escollera.

221.—Escolleras.—Sin necesidad de remontarnos á los tiempos antiguos, se puede asegurar, que, hasta hace muy pocos años, todos los diques de los puertos modernos de alguna importancia, son construidos con escollera, en la parte que permanece constantemente sumergida; y por eso nos ocuparemos con más extension de esta clase de diques, sin dejar de apuntar los demás medios que han sido ó empleados ó propuestos. Estas indicaciones servirán de guia al ingeniero, en las obras de puertos que se le encomienden, y valiéndose de ellas, podrá mejorar los métodos conocidos ó proponer y emplear otros nuevos.

Los diques de escollera se elevan formando un banco ó arrecife artifi-

cial con la piedra que se arroja en el espacio destinado á la obra, á lo cual debe este sistema de construccion el nombre característico de *piedra perdida*; esta piedra toma, en cada localidad, un talud correspondiente á la accion de las olas y al tamaño de los cantos; disminuyendo el tendido, en igualdad de condiciones, cuando aumenta el tamaño de aquellos.

Para determinar la magnitud de los materiales que conviene emplear en una escollera, es indispensable conocer los esfuerzos á que está sometida la obra, con arreglo á lo que, para los diques en general, dejamos dicho [215], y que recapitulamos aquí. 1.° Cuando la ola llega sobre el dique, rompe contra él, desplomándose su masa y conmoviendo el macizo de escollera. 2.° La velocidad adquirida por el agua, impele las piedras hácia la cresta del dique, y su marcha es facilitada por el tendido en aquella parte sobre la cual rompe la ola. 3.° Los vacíos que deja la escollera, producen, llenos de agua, el efecto de una prensa hidráulica, desarrollando enormes presiones sobre las piedras, y arrancándolas de su asiento. 4.° Los espacios vacíos á donde no alcanza el agua, se llenan de aire, que comprimiéndose ó dilatándose instantáneamente, obra tambien sobre las piedras de una manera análoga. 5.° El retroceso de la ola arrastra en sentido descendente los materiales elevados, ataca el cimiento del dique y compromete su seguridad. 6.° La accion oblícua de la ola es de las más desastrosas para la estabilidad del dique, de tal manera que, á pesar de ser mayor el esfuerzo normal contra ella, se prefiere esta direccion por los constructores, porque anula la fuerza de arrastre sobre los materiales que lo componen.

Los dos modos de accion señalados con los números 3.° y 4.° son perjudiciales tambien por levantar la capa de hormigon, que generalmente se estiende sobre la escollera: hasta en muros concertados suele actuar con gran energía sobre sus paramentos : Stevenson (Thomas) cita dos notables ejemplos en diques pertenecientes á puertos de la costa del Este de Inglaterra, en los cuales, los paramentes que daban frente á la mar no daban señales de deterioro, mientras que los del puerto aparecian enteramente descompuestos. En el rompe-olas de Plymouth, con 32 por 100 de vacíos, el aire comprimido en ellos al romper la ola, es tan explosivo como la pólvora y capaz de destruir cualquier macizo sólidamente construido.

222.—Ventajas del sistema concertado.—Todo lo dicho nos demuestra que el sistema de escolleras es un recurso al cual se apela cuando no hay otro medio más económico de construccion, pero á ser posible una fábrica

concertada, será siempre preferible. Examinemos bajo el punto de vista de la resistencia de la obra, una por una, las ventajas sobre las escolleras, así como en el capítulo anterior [211 y 212] lo hemos hecho con relacion al régimen de la costa y á las condiciones náuticas del puerto. La primera ventaja consiste en la trabazon de las partes, que se ayudan mútuamente para resistir, asemejándose la obra á una masa monolítica; en las escolleras, al contrario, cada canto resiste aisladamente. 2.ª Aquel género de construccion permite adoptar paramentos verticales, sobre los cuales la accion de las olas se reduce en una proporcion enorme, porque les permite mantenerse oscilatorias. 3.ª Las 2.ª, 3.ª, 4.ª, 5.ª y 6.ª causas de destruccion son anuladas ó notablemente disminuidas en las construcciones concertadas. Resulta, pues, que bajo el punto de vista de la resistencia, las construcciones concertadas son preferibles á las escolleras.

En cuanto á la comparacion del esfuerzo contra las escolleras compuestas de cantos de grande y pequeño tamaño, el choque es próximamente el mismo á igualdad de talud (que es como debe hacerse la comparacion), y la resistencia menor en las segundas. Las 2.ª, 5.ª y 6.ª causas, tienen una accion más enérgica sobre los materiales de pequeña dimension, pero las 3.ª y 4.ª son mayores en los de grande, aunque la resistencia sea tambien mayor en estos. A fin de atenuarlas, muchos Ingenieros consideran conveniente emplear mezclados materiales de todas dimensiones, para que los menudos llenen los huecos de los grandes, sin lograr con ello alcanzar completamente el objeto : porque si algunos de los materiales de pequeña dimension son arrastrados, los asientos serán mucho mayores que si, desde un principio, se hubiesen rechazado aquellos. Se desarrolla aquí, con mayor motivo que en los firmes de las carreteras, la tendencia, en los materiales menudos, á irse al fondo, quedando los mayores huecos en la parte superior, donde tambien es más enérgica la accion de las olas por las causas 3.ª y 4.ª Generalmente la parte ocupada por el macizo es los 2/3 del volúmen total, y cuando se emplean mezclados materiales de diferentes tamaños, suele tomarse una tercera parte en cada clase, de los mayores, de los medianos y de los menudos; sin embargo, nunca se ha llegado á reducir á 1/4 el volúmen total de los vacíos; en Portland, donde se siguió el sistema de mezclarlos, excede de un 32 por 100.

223.—Comparacion entre las escolleras formadas con cantos de pequeñas y grandes dimensiones.—Pasemos ahora al exámen de las dos opi-

niones que desde un principio tuvieron divididos á los Ingenieros, dando unos la preferencia á los materiales de pequeñas dimensiones, al paso que otros prefieren el empleo de los más voluminosos y de mayor peso específico. Los primeros sientan como principio, que hasta el dia no existe rompeolas cuya forma no haya sido dada por el mar, y establecen, como condicion indispensable, dejar pasar algun tiempo despues de construida la base del dique, para que el mar dé al macizo la estabilidad suficiente. En todas ha sucedido que habiendo sufrido la obra las pruebas de muchos temporales, y transcurrido largo tiempo despues de determinada, una nueva tempestad venia á destruir y á dar otra forma á la base del dique; y de aquí pretendian deducir la conveniencia de echar mano de materiales de dimensiones tan exíguas que fuesen fácilmente removidos por el mar, y llegasen pronto á la forma del perfil de conservacion permanente, segun sucede en las playas de las costas.

Los contrarios al sistema contestan, que no es admisible la comparacion; los materiales de las playas son contínuamente removidos y arrastrados por el temporal más leve, pero son repuestos con los procedentes de las rocas arrancadas á los escarpados de las costas contíguas. Cuando esto no sucede, la playa es atacada y destruida, como lo seria un rompeolas en semejantes condiciones. Por el contrario, á medida que aumenta el volúmen de los cantos, la accion de la ola contra ellos crece como las superficies, ó los cuadrados de sus dimensiones lineales, al paso que la resistencia sigue la relacion de los volúmenes ó de los cubos; luego, aumentando indefinidamente las dimensiones, se llegará á un punto en que la resistencia del canto sobrepuje al esfuerzo de la ola.

Es indudable que ambos tienen razon en las objeciones que mútuamente se dirigen; la deplorable historia de los desastres que han sufrido todos los diques de escollera está escrita en los libros que se ocupan de puertos; lo mismo Cherburgo que Plymouth, Argel que Portland, han pasado por frecuentes vicisitudes antes de alcanzar una consolidacion completa; de tal suerte, que habiendo el capitan Vetch reconocido el rompe-olas de Plymouth treinta y tres años despues de su terminacion, encontró grandes sillares removidos, y arrancados los pernos y barras que los sujetaban, pasando pocos inviernos sin ser destruida alguna parte de la obra. Y termina su informe diciendo; «que no debe considerarse como una obra acabada, y que el llevarla á cabo requeria todavía mucho tiempo y dinero.»

Y en efecto, en 1858 sufre nuevas averías, que probablemente se repetirian en los temporales posteriores.

Aunque es exacto el principio establecido por los defensores de las escolleras formadas con grandes cantos, no es aceptable el argumento fundado en él, por ignorarse en qué límite la masa de los cantos equilibrará al esfuerzo contra ellos; y pudiera suceder que el límite estuviese, en ocasiones, fuera de lo racional y económico en la construccion. Se creyó por algun tiempo bastaban diez metros cúbicos para resistir á las olas más fuertes, y se emplearon en Argel de esta dimension; pero aun despues de los asientos producidos por los desastres de 1843, se sienten resbalar los sillares, unos contra otros, en las tormentas, y el talud exterior ha resultado más tendido que el interior; prueba evidente de no ser estable la construccion. En Cherburgo se usaron de 20 metros cúbicos; de 25 en Cette y no resistian, aislados, á las enormes olas que rompian contra ellos.

Por otra parte, no debemos contar con la resistencia absoluta del canto, como si éste se encontrase en buenas condiciones de estabilidad; su forma irregular hace que sean fácilmente derribados de su asiento y removidos: cuando su tamaño obliga á construirlos artificialmente, la forma de un paralelepípedo, que ordinariamente se les dá, es ménos á propósito todavía para llegar á la estabilidad, cuando son arrojados sin concierto y descansan sobre sus ángulos ó aristas: entonces, el más leve impulso los hace resbalar, rompiéndose en su caida. Esta reduccion del volúmen primitivo, por roturas ó por el rozamiento de unos cantos ó sillares contra otros, es una nueva causa de deterioro, y debemos, por este motivo, contar para la piedra con dimensiones muy superiores á las calculadas.

224.—Forma definitiva de las escolleras.—La forma que toman las escolleras despues de trabajadas por las olas, es, próximamente, la de dos trapecios superpuestos, con distintos taludes en la parte exterior, y el mismo en la interior (lám. 2.ª). El menor talud corresponde al fondo y se extiende desde él hasta la profundidad en que las olas principian á hacer sentir su accion; talud que varía entre 1 y 2 de base por 1 de altura. En Argel es próximamente de 1,25; de 1,75 en Cherburgo y de 1,50 en Plymouth. Haciéndose sentir la accion de las olas á profundidades mayores que aquella en que rompen [52 y 55], el mayor ó menor talud depende, aun en esta parte, de la fuerza de las olas y tamaño de la escollera. Tampoco están conformes los diversos autores, que se ocupan de la misma obra,

en los taludes que consignan, lo cual no debe extrañarse, pues han de variar segun el sitio y la época en que el perfil se haya tomado.

El resto del talud, hasta el nivel de la baja mar, es más tendido; influyen en él directamente, la fuerza de las olas y la magnitud de los cantos: cuando estos no exceden de 3 metros cúbicos, el talud varía entre 11 y 3 por 1; en sitios abrigados, especialmente en el Mediterráneo (lám. 2.ª), suele ser menor. Cuando los cantos y sillares artificiales exceden de 10 metros cúbicos, el talud se reduce á 1 ó 1,25, como en Argel, Marsella, Cartagena y otros puertos. En cuanto al talud interior es de ordinario de 1 á 1,25 y á veces 1,50 por 1.

Si el macizo de escollera se prolonga desde la baja mar, el talud aumenta de inclinacion hasta la media marea, disminuyendo luego desde este punto hasta la plea. Sin embargo, como, á partir de la baja mar, no es difícil ni molesto reforzar y revestir el talud, generalmente son menores los tendidos. Damos un cuadro comparativo de los adoptados en los diversos puertos, repitiendo, que no siempre están de acuerdo los autores en las cifras, por las razones ántes expuestas.

CUADRO de los diques de escollera construidos en los puertos principales.

OCÉANO.

ESCOLLERA HASTA LA CORONACION. — (*Tipo Plymouth.— Lámina* 2.ª, *fig.* 1.ª)

NOMBRE del PUERTO Y DEL DIQUE	Taludes medios. Interior.	Exterior hasta: Donde trabaja la mar. Talud	Exterior hasta: Donde trabaja la mar. Prof.	Exterior hasta: La baja mar...	Exterior hasta: La coronacion.	OBSERVACIONES.
Plymouth	1,75	1,50	2,50	3,50	10 5	Hasta la media marea el talud de 10; el de 5 hasta la coronacion, revestido de sillería.
Portland	1	1	6,00	2	5	Como el de Plymouth.
Delaware	1	1	4,50	3	3	Macizo de sillares artificiales.
Biarritz	1	1	»	1	1	El paramento interior muro.
Por-Patrick	»	2	»	2	4	Idem.
Howth. Este	»	4,5	»	4,5	4,5	Idem.
Howth. Oeste	»	2,5	»	2,5	2,5	Idem.
Donhagadee	»	1,75	»	1,75	4,5	Idem. — Algunos perfiles, tienen 5,5 de inclinacion.
Holyhead antiguo	»	4	»	4	4	
Kingstown	0,75	2	2,00	4	4	
Ostende	3	»	3,00	3	3	Tierra arcillosa revestida con un enlosado.

ESCOLLERA HASTA LA BAJA MAR; MACIZO DE FABRICA HASTA LA CORONACION—(*Tipo Cherburgo*, *lám.* 2.ª, *fig.* 5.ª).

NOMBRE del PUERTO Y DEL DIQUE.	Taludes medios. Interior.	Exterior hasta: Donde trabaja la mar. Talud	Exterior hasta: Donde trabaja la mar. Prof.	Exterior hasta: La baja mar.	OBSERVACIONES.
Cherburgo	1	1,75	5,50	8 3,5	Revestimiento de grandes cantos y sillares artificiales. El talud de 3,5 es el del revestimiento hasta 3,50 metros.
Braye	1,25	1,5	4,50	5	
Sta. Catalina (Jersey)	1,5	1,5	5,00	5	
Bocas del Tyne	2 4	2	4,00	7	El interior tiene dos taludes por dar la boca frente al mar.
Portland (dique de tierra)	1	1,5	4,50	2,5 8	El talud de 8 es el de la baja mar á la media marea.
Holyhead	1	1	6,00	2 7	El talud 7 principia á la profundidad de 1.50 metros y sube hasta la media marea.
Gijon	1	2	»	2	

MEDITERRÁNEO.

ESCOLLERA HASTA LA CORONACION (*Tipo Argel.*)

NOMBRES de los PUERTOS Y DIQUES.	TALUD. Interior.	TALUD. Exterior.	OBSERVACIONES.
Argel	1,25	1,25	Sillares de hormigon: una parte del dique el macizo lleva piedra en su interior.
Alejandría (rompe-olas)	1,50	1,25	Sillares de hormigon: el interior revestido con escollera.
Barcelona	1	1,5	
Valencia	1	1	
Tarragona	1,5	4,5 2	Desde el nivel del mar á la coronacion el talud baja á 2.

ESCOLLERA HASTA EL NIVEL DEL MAR: MURO DE DEFENSA POR EL EXTERIOR (*Tipo Marsella, lámina 2.ª, fig. 4.ª*)

NOMBRES de los PUERTOS Y DIQUES.		TALUD. Interior.	TALUD. Exterior.	OBSERVACIONES.
Marsella	Napoleon	1,5	1	Revestimiento con sillares de hormigon: desde el nivel del mar hasta fuera del agua, talud de 2,70.
	Joliette	1,5	1	
Alejandría		1,75	1,25	Revestimiento con sillares de hormigon.
Bastia	San Nicolás	1,5	1,33	Idem.
	Dragon	1,5	1,33	
Isla Roja		1,5	2	Idem.
Alejandría		1,75	1,25	Idem.
Cassis		2	2	Idem.
Cette		1,5	2	Idem.
Port-Vendier		1	1	Idem.
Ciotat		1	1	Idem.
Cartajena		1,25	1,75	Idem.
Puerto Said		1,5	1,5	Idem.
Liorna		1	2	Sillares artificiales.
Alicante	Poniente	1	2,25	Idem.
	Levante	1	4 2	El talud 4 principia á 2,50 metros debajo del nivel del mar.
Palermo		1	5,5 2	El talud 5,5 principia á 3,50 metros debajo del nivel del mar.
Nisida	Antiguo	1	1	
	Nuevo	1	1,5	
Sante Venere		1	2,5	
Bouc		»	2	

El anterior cuadro nos hace ver cuán complejo es el problema que hay que resolver en la eleccion de materiales y sistema de construccion de un dique; los taludes, la profundidad del agua, la altura de la marea, la mano de obra, todo debe tenerse en cuenta, y á veces, la cuestion de tiempo, es decir, la rapidez en el desarrollo de las obras, tiene una influencia todavía superior á la de precio. En Argel y en Puerto-Said se adoptaron por este motivo sillares artificiales; y, aunque se crea lo contrario, fué esta la razon decisiva de adoptar en Dover el sistema concertado. Cuando la fuerza del mar exige, para resistirla, cantos de más de 3 metros cúbicos, es muy difícil encontrar canteras que los den, aunque suelen encontrarse excepcionalmente, como en Holyhead y en Génova, en donde se obtuvieron hasta de 20 metros cúbicos. En los diques de Barcelona

fué necesario reducir el volúmen del marcado en condiciones, para lograr llevar á término la obra.

225.—Composicion de un macizo de escollera.—La seccion trasversal de las escolleras, es ordinariamente de una composicion uniforme, mezclándose las materias de todas las dimensiones, y contentándose, á lo sumo, con revestirlas exteriormente con cantos más gruesos, como en Cherburgo, Plymouth, Holyhead, etc.; pero en otros diques, especialmente en los franceses, se ha tomado la precaucion de dividir en capas la seccion trasversal.

Los macizos de escollera no deben ser de una composicion uniforme; la accion de la ola se va haciendo sentir con ménos energía á medida que profundizamos dentro del macizo, y resguardados los materiales por las capas exteriores, son más difícilmente arrastrados; así pues, debemos reservar los más gruesos para las capas exteriores. Tambien es conveniente cuidar de no emplear los materiales crecidos en el fondo del mar, colocándolos en la parte comprendida entre el límite hasta el cual se hacen sentir las olas, y la baja mar.

El objeto que se proponen los que hacen uso de las escolleras mezcladas, es ilusorio; creen con ello disminuir los vacíos, y se equivocan : esto sucedería trabajando fuera del agua, colocados los materiales con concierto, y ripiando los huecos, como se practica con una mampostería en seco; pero arrojados al azar, sin arreglo posible, se necesitaria dotar á la escollera de inteligencia y voluntad, para que el menudo se alojase en los huecos que dejan entre sí los cantos gruesos; y aunque así sucediese, es bien conocida la tendencia de los materiales menudos, cuando se los agita, á ocupar el fondo, y lo que se observa en los firmes de las carreteras, debe reproducirse en las escolleras en mayor escala. Ademas, los cantos de pequeñas dimensiones, que, mezclados con los mayores, ocupan los taludes, serán arrastrados tanto más fácilmente, cuanto más oblícuo sea el choque, dejando sin sosten á los cantos apoyados en ellos, que rodarán hasta el fondo del mar. Por ambas causas, los asientos serán mayores en las escolleras sin clasificar, y los vacíos, segun Chevalier, excederán siempre del cuarto del volúmen.

En Plymouth llegaron á ser 32 por 100; el 30 en Holyhead; el 29 en Portland, no habiendo variado, segun Coude, desde 1853 á 1856; y como en los construidos por capas clasificadas, no excede el vacío de 33 por

100, no es mucho lo que se ha ganado. Despues de todo, es siempre necesario un revestimiento, ya de los cantos más gruesos, como en Plymouth, Holyead, Portland, Alderney y Cherburgo; ya de sillares artificiales como en Cherburgo, Fuerte Boyardo y Marsella, ó de sillería como en Plymouth.

La clasificacion representa un aumento de coste en el presupuesto de la obra, más que compensado con las anteriores ventajas, y sobre todo, con la mayor cantidad de menudo que el sistema permite. Hay un caso, sin embargo, en que no es conveniente la clasificacion; caso raro que pocas veces se presentará, y es, cuando la cantera posea condiciones tan excepcionales, que los cantos difieran poco en magnitud, y el menudo sea en pequeña cantidad.

El principio á que deberá satisfacer toda clasificacion de escollera, es la de invertir en el dique cuanta piedra utilizable se extraiga de la cantera, lo cual no seria posible empleando mezclada la piedra. De este modo, el precio habrá de ser el mismo para la escollera, cualquiera que sea su tamaño, y será el precio medio á que resulte el desmonte en la cantera. Es evidente, que la distribucion en el perfil trasversal variará de una obra á otra; y en el mismo dique, con la distinta profundidad, diversa cantera, y acaso tambien en la misma cantera con los diferentes estados de la explotacion.

Como ejemplo de distribucion, damos aquí la adoptada para la construccion del dique Napoleon en el puerto de Marsella (Lám. 2.ª, fig. 4.ª). Los cantos se dividen en cuatro clases, en la forma siguiente: el menudo, y cantos de 1.ª, 2.ª y 3.ª clase, siendo los límites inferiores de cada una 5, 100, 1.300 y 3.900 kilógramos.

En la seccion transversal de este dique, hay que distinguir dos partes; el cuerpo del dique y los revestimientos. El cuerpo principal tiene la forma de un trapecio, cuya base menor ó la superior, establecida á 2 metros sobre el nivel más bajo de las aguas del Mediterráneo, es de 7 metros de longitud. A los tendidos se les dá una inclinacion de 1 1/3 por 1, y se prolongan hasta el fondo del mar. El interior de este trapecio se divide en tres partes por dos líneas quebradas, compuestas, la primera de dos rectas, una horizontal, trazada á la distancia de 8 metros de la línea de baja mar, terminando en el talud interior por un lado, y por el otro en la vertical que pasa por la interseccion de la línea de baja mar con el talud exte-

rior y de otra recta paralela al tendido. La segunda division la forman tambien una horizontal situada á 14 metros por debajo del nivel del mar, que parte del tendido interior y tiene 22,60 metros de longitud, y otra recta paralela al talud exterior.

El trapecio limitado por esta segunda línea quebrada, está más resguardado de la accion del mar que el resto de la obra, y por eso se compone del menudo de la cantera ó de pequeños cantos que proceden de los desechos de la explotacion de las canteras, y su talud es de 1 1/3, el mismo que la experiencia señala á estos materiales. La figura indica claramente la clase de los invertidos en cada parte del macizo.

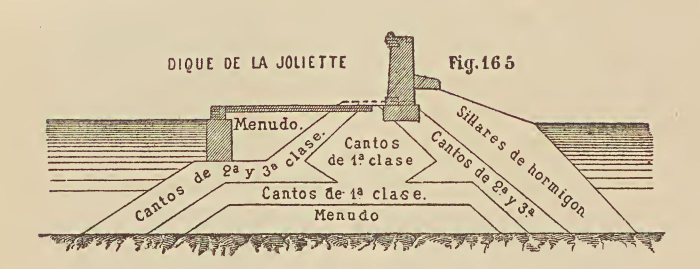
El revestimiento del talud exterior del dique, cuyo objeto es resguardarlo de la accion de las olas, se divide en dos partes; la inferior se eleva hasta 8 metros debajo del nivel del mar, y la forman cantos de 3.ª clase; y la superior, hasta la coronacion, se compone de sillares artificiales de hormigon. El talud exterior tiene 45.° de inclinacion; arranca de la línea de baja mar á 10 metros de distancia del macizo principal, y lo completan otras dos rectas trazadas desde un punto situado á 3,80 metros de altura, en la vertical que pasa por la interseccion del talud exterior del macizo con el nivel del mar; una de ellas normal al talud del cuerpo principal, y otra que vá á encontrar en la baja mar á la línea inclinada á 45°. Sobre la parte superior de este revestimiento se eleva el muro de abrigo, y delante de él, se construyó, de hormigon, un anden exterior para el servicio.

El revestimiento en el talud interior es doble; el más próximo al cuerpo del dique está terminado por una horizontal de 8 metros trazada á la profundidad de 2, y por una recta inclinada, cuyo talud es de 1,50. El segundo revestimiento lo está por una horizontal de 9 metros á 7 de profundidad, y por una recta con la inclinacion del revestimiento anterior.

Sobre la cara superior de este último revestimiento se eleva un muro vertical hasta la coronacion del trapecio, rellenando el espacio intermedio con el menudo procedente del desecho de las canteras. De esta manera se obtiene, además del dique, y sin contar con el espacio ocupado por el espaldon de fábrica, un muelle de 30 metros de ancho, á cuyo pié podrán atracar los buques con un calado de 7 metros.

Este sistema de distribucion fué imitado del seguido en el dique de la

Joliette en el mismo puerto (fig. 165). El dique Napoleon es la prolonga-



cion de aquel, en el cual vemos otra distribucion encaminada al mismo fin. Hé aquí las clasificaciones hechas en varios puertos. (1)

NOMBRE DEL DIQUE.		PESO EN KILOGRAMOS DE LAS PIEDRAS SEGUN LA CLASE.				
		Menudo.	1.ª	2.ª	3.ª	
Marsella.	Joliette.	5	100	1.300	3.900	Límites superior é inferior.
	Napoleon.	100	1.300	3.900	7.900	
Barcelona.		»	2.300	4.600	9.200	Término medio.
Valencia.		495	240	1.900	4.300	Límites superior é inferior.
		240	1.900	4.300	6.200	
Portland.		»	100	2.000	6.000	Idem.
		»	2.000	6.000	»	

(1) La clasificacion está invertida, en algunos puertos, llamando de 1.ª clase á los más gruesos, y así sucesivamente: la hemos uniformado, procediendo siempre de menor á mayor.

Bastia....	San Nicolás.	10	100	725	»	Idem.
		100	725	3.900	»	
	Dragon. ...	15	100	1.350	4.050	Id. Peso del metro cúbico, 2.760 kil.
		100	1.350	4.050	»	
Alicante.............		0,5	0,50	1,00	2,00	Metros cúbicos.
Puerto-Said..........		»	0,20	1,00	2,50	Id. Peso del metro cúbico, 1.490 kil.
		0,20	1,00	2,50	»	

El sistema seguido en el dique del Dragon del puerto de Bastia peca por ser en extremo complicado: el precio para cada clase era distinto, y además del máximo y del mínimo, se señaló un término medio de 750, 2.700, 5.500 kilógramos para las entregas de las tres clases superiores; de manera, que las cantidades entregadas entre los límites señalados, debian dar un peso medio igual, cuando ménos, ó superior á aquellos números. Todavía se exageró más en Génova, en donde el número de clases de piedra llegó á 11, con su precio especial cada una. Las cinco inferiores destinadas al relleno, comprendian cantos desde 10 kilógramos á 20 toneladas, y desde este tamaño en adelante, las seis restantes, que servian para el revestimiento. Las canteras eran excepcionales por lo buenas, habiéndose obtenido en ellas cantos de 70 toneladas, á pesar de lo cual no escusaron los sillares de hormigon con objeto de acelerar la marcha de los trabajos.

226. — Ventajas é inconvenientes del sistema de escolleras. — La gran ventaja que resulta á favor de las escolleras, como sistema de construccion, es la facilidad suma de su colocacion en obra y la rapidez con que la construccion avanza. El sistema se reduce, segun queda dicho, á arrojar piedra perdida en el sitio de la obra, y dejar luego al mar, que trabajando sobre ella, dé al macizo la consistencia necesaria. Esta accion del mar produce asientos enormes en la masa, especialmente en la recien arrojada. Los asientos son debidos: 1.° á la disminucion de los vacíos por la mayor penetracion ó engrane de unos materiales con otros, facilitado por su remocion; 2.° á la rotura de los cantos, ya naturales, ya fabricados, en particular de sus ángulos y aristas, que se redondean y hacen más á propósito para disminuir el vacío; 3.° al arrastre de los materiales de pequeño tamaño; 4.° al desarreglo de los grandes cantos del revesti-

miento que, á pesar de su magnitud, no resisten á la accion de los temporales.

Al construir el dique se debe, segun Minard, llevar la obra por capas horizontales que ocupen toda su anchura; muchas veces, para procurar más pronto un abrigo, se suele elevar un macizo de menor grueso, agregando, en campañas posteriores, las zonas laterales que faltan para completarlo. Así se hizo en Cette, resultando (fig. 166) empleado en la cons-

Fig. 166.



truccion del dique un exceso *A B C D* y *E F G H* de volúmen. Es preferible, en casos tales, avanzar menos con el dique, á aumentar el gasto invirtiendo un material innecesario.

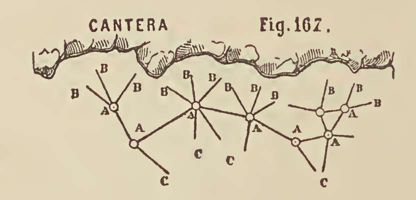
Esta opinion de Minard no tiene fundamento en gran número de casos, y más bien que á los diques de abrigo, es aplicable á los de entrada, cuando la boca del puerto está formada por un canal: en este caso, dá la cabeza frente al mar, y las olas atacan la obra por los dos costados, siendo entonces justa la observacion de Minard; pero en la mayor parte de los diques no existe el inconveniente señalado por aquel ingeniero, porque el dique puede ensancharse por el interior á donde no ha alcanzado la socavacion. Tampoco es aplicable la observacion de Minard al caso en que el fondo sea de roca.

A pesar de todo lo dicho, subsiste la conveniencia de avanzar con la obra en toda su anchura, aunque fundada en otras razones: si en la construccion del dique se observa la regla de clasificar la escollera, es indispensable, para la seguridad de la obra, que los revestimientos abriguen la parte central; y aunque los revestimientos interiores pudieran escusarse á veces, la clasificacion y distribucion de la escollera, en el perfil trasversal, se hace con arreglo á lo que la cantera dá, y es necesario invertir inmedia tamente en la obra el material acopiado.

227.—Organizacion de los trabajos en las canteras.—Nada diremos de la explotacion de las canteras en la construccion de esta clase de di-

ques; los procedimientos son los mismos que para las demás obras que exigen una explotacion en grande escala (1). El sistema de grandes minas generalmente es el más económico y con más frecuencia empleado ; alguna vez, por excepcion, el método ordinario de barrenos suele ser más conveniente. En Puerto-Said (canteras del Mex), el kilógramo de pólvora invertido en voladuras solo daba 5 metros cúbicos de roca desmontada, y 7 los barrenos. Al coste de los hornillos hay siempre que agregar el de los pequeños barrenos para desmenuzar las grandes masas. En Barcelona se aplicó un procedimiento especial, usado tambien en algunas voladuras (2).

Arrancada la piedra, se establece (fig. 167), para facilitar las operacio-

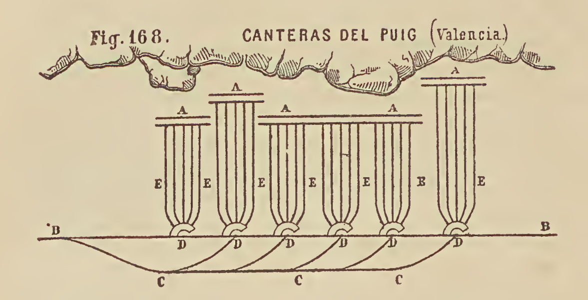


nes de carga y descarga, una vía *A, A, A*, que recorre el frente de la cantera, desde cuya vía parten ramales *B*, unidos á ella por placas giratorias: en estos ramales se sitúan las gruas y los wagones que han de trasportar la piedra. En Marsella, cada placa, servia ordinariamente á tres ramales, el central, donde se coloca la grua, y los dos laterales para los wagones vacíos. A medida que el corte de la cantera avanza, avanzan tambien los ramales y las gruas.

En otras explotaciones, como en Valencia y Puerto-Said, la línea de las gruas, paralela al frente de la cantera, se traslada á medida que adelanta el corte; otras veces, como en Cartagena, se adopta un sistema

(1) Véanse los apéndices.
(2) Véase más adelante la voladura de la roca Blosson, en San Francisco de California.

mixto. Damos aquí la descripcion de las vías de explotacion establecidas en las canteras del Puig en Valencia (fig. 168).



La organizacion de los trabajos en estas canteras es la siguiente: se principió arreglando, con los desperdicios de la cantera, una explanada de 3 hectáreas próximamente, y en ellas se establecieron, paralelos al frente de la cantera, trozos de una doble vía *A*, *A*, destinada al servicio de las gruas. Las gruas, de doble pescante, estaban sostenidas por una plataforma, compuesta de vigas en cruz, de palastro, cuyos cuatro ángulos se apoyaban sobre otros tantos carretones, dos en cada vía. Esta doble vía es la que se mueve paralelamente al frente de la cantera para poner las gruas al alcance de la piedra desmontada.

Paralelamente á la vía anterior, se colocaron otras dos, *BB*, *CC*, ó más bien una via *BB*, prolongacion de la que conduce á las obras, y su apartadero *CC*, unido á la principal por ramales *CD*. La via *BB* está ligada con la *AA* por los ramales de carga *E*, *E*, treinta en número, divididos en seis grupos de á cinco cada uno. El espacio que media entre cada grupo, se aprovechó para depositar el desecho de la cantera, construyendo con tal objeto, con piedra en seco, muretes de contencion, formando muelles, desde los cuales se ayuda á las operaciones de la carga.

Cada grupo de ramales empalma con la via general por una placa

giratoria *D*, dispuesta de manera que no pueda dar una vuelta entera. Esta disposicion se adopta con objeto de impedir que los wagones se coloquen invertidos, y marchen siempre en el mismo sentido. La via general *BB*, sirve para el depósito de los wagones vacíos, formándose el tren de los cargados, en el apartadero *CC*. La maniobra consiste, pues, en lo siguiente: los wagones vacíos, que vienen del puerto, pasan con el auxilio de las placas giratorias, de la via general á los ramales de carga, y por medio de los cambios, despues de cargados, al apartadero, donde se forma el tren para ser trasportado desde allí al puerto.

228.—Descripcion de la grua de equilibrio constante.—De las infinitas gruas y cábrias de todo género, clase y magnitud, empleadas en la explotacion de las canteras, describiremos la usada por vez primera en el puerto de Marsella, y que, por su sencillez y los servicios allí prestados, se ha generalizado, aplicándola tambien en un gran número de puertos de España y del extranjero.

Todo el aparato va montado sobre un carreton que lleva encima una placa giratoria (lám. 4.ª, figs. 1.ª y 2.ª) sobre rodillos, la cual sostiene un bastidor, compuesto de dos largueros unidos por traveseros, y dispuesto de modo que la mayor longitud corresponda hácia atrás, para que el peso, que carga entero sobre la parte anterior, obre con menor brazo de palanca. Forman la grua cuatro piezas inclinadas, que partiendo de las extremidades del rentángulo de la plataforma, se reunen delante de ella; se refuerza además el sistema, por un cabecero en la parte central, que liga las dos piezas inclinadas de la parte posterior, sostenido por dos montantes y atirantado por barras de hierro que se unen sobre el cabecero y se apoyan en las extremidades de los largueros. El torno, y la locomóvil que mueve el aparato, se sitúan en la parte anterior de la plataforma.

El peso del torno y de la locomóvil tienden á inclinar el aparato hácia adelante; para mantener la grua en equilibrio, con cualquier peso que levante, se convierte la parte de atrás del bastidor en una especie de romana, cuyo pilon, corriéndolo adelante ó atrás, equilibra el peso de la parte anterior y el del canto suspendido. El pilon de la romana lo forma un carreton, que corre sobre carriles, cargado con lingotes de hierro, y cuyo peso es próximamente de 8 toneladas. Cuando la grua no sostiene peso, el equilibrio queda establecido colocando el carreton junto á los postes centrales: cuando la grua levanta algun canto, se restablece, como en una ro-

mana, corriendo el wagon sobre los carriles. Para que el contrapeso no derribe la grua, si accidentalmente se rompiese alguna de sus piezas, ó el canto llegase á caer, y para que el desequilibrio no fuerze el eje de giro ó los tejos de la placa giratoria, se han colocado, en la parte posterior, dos postes terminados á corta distancia del suelo, cuyos postes sirven de apoyo á la grua cuando se inclina hácia aquella parte.

Si los pesos que ha de levantar la grua fueran conocidos, se podrian marcar, como en una romana, los puntos que debe ocupar el wagon en la posicion de equilibrio; pero siendo los pesos desconocidos, y á consecuencia del gran número de puntos fijos que tiene la máquina, el equilibrio puede existir para diferentes posiciones del wagon; por estas razones, al principiar á trabajar con la grua, se coloca el contrapeso en la extremidad más distante del eje de giro, para que el tope toque con el suelo, corriendo aquel luego hácia el centro, despues de suspendido el canto, hasta que el poste quede en el aire y el aparato descansando sobre el carro circular del carreton.

El movimiento de traslacion se comunica al contrapeso por una cadena sin fin, fija al wagon por sus extremos en dos anillas. Esta cadena pasa por dos poleas fijas, de cambio de direccion, una de ellas en la parte posterior de la plataforma, y la otra entre los dos montantes ; y da varias vueltas al rededor un torno situado entre los largueros del bastidor, movido por un engranaje y manivela. De este modo, haciendo girar el torno, la cadena se arrolla por uno de sus extremos y se desarrolla por el otro, y el wagon correrá, á voluntad, en uno ó en otro sentido.

Para trasladar la grua de un punto á otro, sobre la vía que recorre, se emplea la fuerza misma de la máquina de vapor que mueve el torno. En los extremos de la carrera, se hincan dos estacas con una polea en la cabeza de cada una; una cadena sin fin; fija por sus extremidades á dos anillas que lleva el carreton que sostiene la plataforma de las gruas, pasa por las poleas, despues de arrollada al árbol del torno, que girando en uno ó en otro sentido, hace avanzar ó retroceder la grua.

Cuando el aparato llega al punto en donde se ha de verificar la carga, se hace mover la parte superior, sobre la placa giratoria, por el esfuerzo de dos hombres, hasta que el aparejo caiga sobre la piedra que se quiere suspender; se rodea esta con una cadena que se engancha al aparejo; se dispone el contrapeso de modo que haga equilibrio, y despues de levantar

el canto á la altura necesaria para cargarlo en el wagon, se hace girar la grua hasta depositarlo sobre él.

Cargados los wagones, que se colocan á un lado y á otro de la grua, pasan por medio de las placas giratorias á la longitudinal, y de aquí á otras vías que conducen de las canteras á la costa. Se dá una pequeña inclinacion á estas vías para que el transporte sea fácil, y á veces el mismo wagon desciende por su propio peso hasta el punto de embarque ó de inversion. La fig. 171 representa la disposicion que en el dique Napoleon se dió á estas vías; una de ellas directa, por donde bajan los carretones cargados, y un apartadero, por el cual vuelven á la cantera los vacios. Estas vías están provistas de sus correspondientes cambios, placas giratorias, y demás accesorios.

229.—Organizacion de los trabajos para la construccion de un dique.— Ya cargados los cantos en los wagones, se colocan en obra de tres maneras distintas. 1.° Cuando el muelle arranca de la costa, se puede establecer un ferro-carril sobre la parte construida, é irlo prolongando á medida que la obra avanza (Valencia). El 2.° sistema, único aplicable en los diques aislados, como el de Plymouth ó Cherburgo, consiste en conducir la piedra en gabarras ó lanchones hasta el sitio de su inmersion. 3.° Y por último, sistema muy generalizado en Inglaterra, se establece un andamio fijo en una parte del dique en construccion, verificando desde él todas las operaciones que lleva consigo la sumersion. (Holyhead, Portland, etc.)

El primer sistema, tiene respecto del tercero, la ventaja, no siempre efectiva, de la economía del andamio; pero en cambio todas las operaciones son más trabajosas, menos expeditas, y vienen en definitiva á compensar, con frecuencia, el aumento de gasto que el establecimiento del andamio origina; lo cual explica, por qué en los diques construidos en Inglaterra, se adoptan los andamios como procedimiento general de construccion. El segundo sistema, se ha usado con frecuencia combinado con el primero, pero nunca con el tercero, porque el avance de la obra, con el andamio, es bastante rápido para no necesitar otro auxilio.

230.—Conduccion de la escollera por el mismo dique. Dique de Valencia.—Como ejemplo de una excelente organizacion de este sistema, elegimos el puerto de Valencia, en donde se aplicaron plataformas de báscula para verter la escollera.

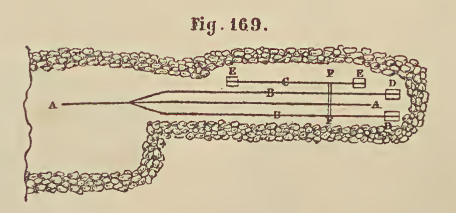
Formados los trenes, segun se ha dicho [228], la locomotora los arras-

tra hasta la báscula, en cuyo apartadero se colocan los wagones á medida que se pesan. La locomotora toma el tren anterior ya pesado, lo conduce, empujándolo, á la cabeza del dique, practica la descarga, y lleva el tren vacío á las canteras, donde toma otro cargado que deja en la báscula, para continuar con la maniobra en la misma forma que antes. El servicio de la báscula se hace por caballerías.

Al llegar al puerto, despues de haber recorrido desde las canteras un trayecto de 16 kilómetros, la vía se ramifica en otras cinco, tres de las cuales se prolongan sobre el dique hasta la cabeza, destinando al ensanche las dos restantes. Una de las primeras servia á la vez como depósito de los wagones cargados y tambien para la construccion del revestimiento, y pretil; otra, para recibir el tren cargado destinado á prolongar el dique; y la última, para formar los trenes de wagones vacíos. Estas tres vías se reunen en una placa giratoria, de la cual parten dos ramales á la cabeza del dique, en cuyas extremidades se sitúan los descargaderos ó *tipings*. Las vías destinadas al ensanche comunican con la de wagones vacíos por otra transversal.

Posteriormente se modificó esta disposicion reduciendo á tres las vías (Fig. 169): las dos laterales *B* iban directamente á los descargaderos *D*, y en

Fig. 169.



la central *AA* se depositaban los wagones vacíos. Con este arreglo se conseguia utilizar la locomotora para empujar los trenes hasta muy cerca del punto de descarga. Para evitar los entorpecimientos originados del doble uso á que se destinaba la primera vía, en la antigua organizacion, se estableció una cuarta *C*, sin salida, para el servicio de las gruas *E* y wagones ocupados en el ensanche y en el espaldon. Todas estas vías estaban en-

lazadas por un carreton trasbordador F del sistema Dunn. La fig. 170 in-

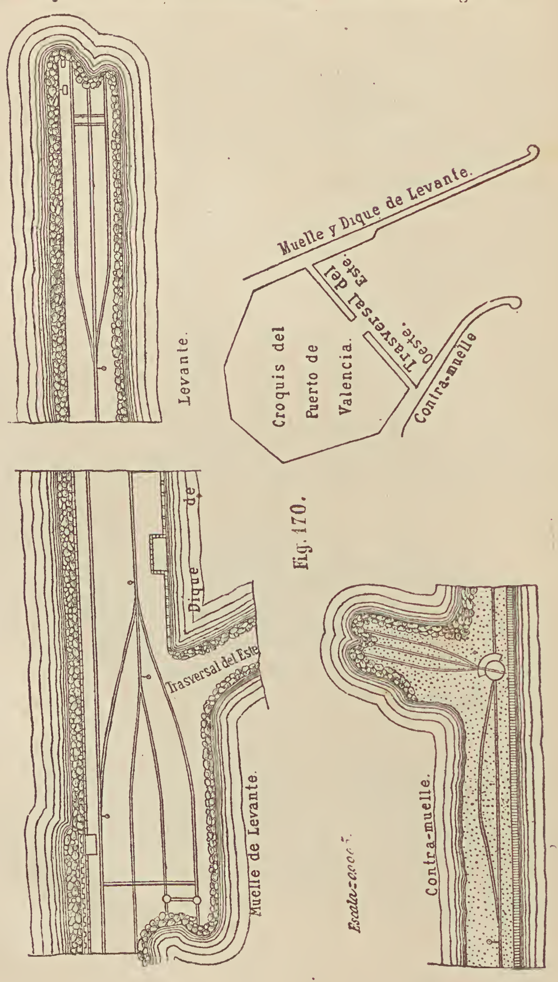


Fig. 170.

dica las variantes introducidas en cada caso, en el arreglo de las vías, segun las exigencias de la obra.

Los descargaderos (lám. 4.ª, fig. 6.ª) son de báscula; un aparato parecido se ensayó en Marsella, aunque con éxito desgraciado, lo cual demuestra cuán importantes son los detalles en los sistemas de construccion. Esta báscula consiste en una plataforma fija, compuesta de dos largueros *A* arriostrados entre sí y apoyados sobre la escollera, á la cual van sujetos con cadenas y cuerdas : la plataforma se corre á medida que la obra avanza. Sobre la plataforma fija, descansa otra móvil, de hierro, cuyos largueros *B* son dobles carriles del sistema Barlow, unidos en su primer tercio por un tubo de fundicion *C*, que acodándose en sus extremidades se apoya en el coginete y gira alrededor de él. En las cabezas de las barras, hay un tope formado por una traviesa *E*, que impide caer á los wagones; está apoyada sobre dos montantes de madera, y un travesero *F* á la altura de la plataforma del wagon. Además, va arriostrado transversal y longitudinalmente por medio de tirantes *E*. La plataforma lleva tambien topes de goma elástica para amortiguar los choques.

La plaforma y la vía en su proximidad á ella, tienen una ligera inclinacion en el sentido descendente; de manera, que el más pequeño impulso basta para precipitar sobre la báscula á los wagones, los cuales, para mayor precaucion, además de la traviesa que sirve de tope y contra la cual chocan, están retenidos por una cadena de la longitud extrictamente necesaria para llegar á la extremidad del cargadero. Vertida la piedra, el equilibrio se restablece y la báscula recobra su posicion horizontal; la cadena sirve despues para llevar el carreton al depósito de wagones vacíos.

Cuando la escollera se ha amontonado en gran cantidad delante de los cargaderos, se remueve con palancas, y con una de las gruas de servicio que, montada sobre un carreton, se lleva á la vía del descargadero, arreglando la superficie de asiento de las básculas que se corren hácia adelante para continuar la operacion. El ángulo de resbalamiento de la piedra era de 30° próximamente.

231.—Construccion por medio de andamios. Diques de Holyhead y de Portland.—Este sistema es muy general en Inglaterra, y no exclusivo á los diques de escollera, sino á este género de obras, cualquiera que sea el sistema de construccion. Andamios se han usado en los diques de Holyhead y Portland, de escollera, como en Dover, Aberdeen, Kurrachee y

otros que pudiéramos citar; y suponen, quizás con razon, que la facilidad que prestan á los trabajos, compensa sobradamente los gastos que ocasiona. Es preciso convenir, que si la economía en el gasto no está demostrada en todos los casos, en cambio la de tiempo es evidente, avanzando rápidamente la obra, independientemente del progreso ó dificultades de la misma.

Los andamios, por sus circunstancias especiales, habrán de estar sujetos á ciertas condiciones. Son obra de grande entidad, pues la altura de los postes que la sostienen, alcanza cifras tan elevadas que llegan, en algunos, á 27 metros; es decir, que exige maderas de la mayor longitud y escuadría. Debe tambien armarse y desarmarse fácil y rápidamente, y por eso haremos notar, que solo se admiten en su composicion piezas verticales (postes) y horizontales (largueros y traveseros), con exclusion de tornapuntas y de otras piezas inclinadas; admitiéndose á lo sumo, como en Aberdeen y en Dover, tirantes de hierro oblicuos. Hay otra razon para excluir estas piezas, y es, el grande esfuerzo que contra ellas ejerce la ola [214]. El apoyo sobre el suelo es variable segun la naturaleza de aquél; en Portland se usaron pilotes de rosca; en Dover, con un fondo de creta blanda, azuches formados por una barra de hierro (lám. 15, fig. 8.ª). Cuando la creta desapareció sustituyéndola la grava, se suprimieron los azuches, limitándose á apuntar el pié del pilote. En Aberdeen, con fondo de roca, se abrieron agujeros en ella, en los que se introducian barras sujetas al pié del poste. En otros diques se ha preferido apoyar los piés derechos en el suelo; para ello se termina el pié del poste en una basa ó zapata. En Holyhead formaban la basa cuatro escuadras ó piezas de hierro unidas al pié (lám. 4.ª, fig. 5.ª). En Aberdeen, la zapata era de fundicion, de 1/2 tonelada de peso, de forma octogonal, y de 1,10 metros de diámetro, con un hueco cilíndrico en el centro para recibir el pié del poste.

La parte superior del poste lleva siempre una pieza para cojer y sujetar los largueros ó traveseros. En Holyhead, son dos piezas de madera (lámina 4.ª, fig. 5.ª), atornilladas á las caras de los montantes; en Portland, de las dos piezas acopladas que forman el montante, se aserró la cabeza de la exterior, proporcionando así asiento para la traviesa, que exteriormente se sujeta con otra pieza, acoplada como en el dique de Holyhead. En Dover y en Aberdeen, han usado capiteles de fundicion: en el de Dover (lám. 15, fig. 7.ª), es una placa rectangular con dos orejas para cojer el travese-

ro, y un tubo para introducir la cabeza del poste. En Aberdeen el capitel pesa 1,50 toneladas, con un hueco en la parte inferior de 1,20 metros de profundidad para introducir en él la extremidad superior del montante: la forma de la placa que figura el abaco es triangular, de 2,09 en el sentido de la longitud del andamio, por 1,88 metros de ancho, y las traviesas se sujetan á ella con tornillos. Lleva, para mayor seguridad, pequeños rebordes que sostienen lateralmente los largueros.

Los montantes, para longitudes tan enormes, deben ser muy resistentes: en Holyhead y en Portland se componen de dos piezas acopladas, empalmando los trozos hasta alcanzar la longitud necesaria. Los de Holyhead, se han reforzado en el centro con dos piezas acopladas (lám. 4.ª, figs. 3.ª y 5.ª), de 9 metros de longitud y de forma triangular, obtenidas aserrando diagonalmente una viga de 35 centímetros de escuadría; sujetándolas á los costados con tornillos y pasadores. Estas piezas dan al pié derecho la forma del sólido de máxima resistencia.

En Portland, los postes son vigas armadas, compuestas de dos piezas acopladas, empalmados sus trozos, y un pendolon central de cada lado, con sus tirantes. Cada poste pesaba 5 toneladas. En Dover y en Aberdeen los postes eran maderos rollizos.

Los largueros y traveseros tienen tambien dimensiones en armonía con los postes. Los andamios ingleses tienen una amplitud y holgura que podria calificarse de exagerada. En Portland y Holyhead los postes distan de 9 á 10 metros, trasversal y longitudinalmente. En Aberdeen son menores las distancias, pues sólo distan 5,50 metros en sentido longitudinal y 8 en el trasversal; pero en Dover, en donde se ha querido reducir á tres el número de piés derechos de cada cuchillo, sube á 13 metros la distancia, aunque en el sentido longitudinal sea sólo 8. La necesidad de disminuir el número de apoyos para facilitar el montaje y desarme del andamio, y la condicion impuesta de excluir las tornapuntas, obliga á exagerar las dimensiones de los largueros y traveseros. En Holyhead, en Portland y en Dover, los traveseros son dos vigas acopladas; tambien son dos vigas los largueros en el primero, y una viga armada con pendolones y tirantes en los otros; en Aberdeen, los largueros y traveseros están formados por tres vigas acopladas. En Dover (lám. 15, figs. 5.ª y 6.ª) las carreras son verdaderas vigas armadas, de madera y hierro, y así longitudinal como trasversalmente, los piés derechos van ligados por tirantes de hierro horizon-

tales é inclinados, con sus correspondientes tensores. Llevan además, todos ellos, sus correspondientes zapatas.

Cada palizada (lám. 4.ª, fig. 3.ª), se componia en Holyhead de cinco piés derechos, reunidos en su parte superior por una doble fila de carreras ó cabeceros, y distantes próximamente 10 metros de eje á eje, viniendo á corresponder al medio de cada una de las cinco vías establecidas. Para asegurar la estabilidad del andamio en el sentido trasversal, se tomó la precaucion de remplazar, en cada cuchillo, uno de los piés derechos, por otros dos inclinados y reunidos en su extremidad superior. La situacion de este doble puntal variaba de una palizada á otra, corriendo un lugar en cada una.

Casi al mismo tiempo que el de Holyhead, se construian en Inglaterra los diques de Portland con materiales y procedimientos análogos. Uno de los diques arranca de tierra, dejando, con el otro aislado, un vano ó boca de 122 metros. El andamio de 40 metros de ancho, constaba de cuchillos formados con cinco piés derechos, cada uno de los cuales sostenia una vía. En la boca, el puente de servicio se reducia á tres vías, ligándolas, con las cinco de los otros dos tramos, por medio de cambios.

La manera de armar estos andamios, muy parecida en todos, y usada desde muy antiguo en las obras de madera construidas en el mar, la encontramos descrita por Minard para los diques de Dunkerke. En Holyhead se empezó (lám. 4.ª, fig. 5.ª) por fijar la posicion de cada uno de los piés derechos que forman el cuchillo; hecho esto, se echaba la sonda en los puntos respectivos, y un buzo, vestido con escafandra, descendia al fondo y reconocia el sitio que debia ocupar cada pié derecho, para determinar exactamente la longitud; construyéndose en tierra y transportándolos á remolque al sitio de la obra. Para la colocacion se hacia avanzar, por cada una de las vías establecidas, una grua montada sobre un carreton; cada grua cogia un poste, suspendiéndolo y lastrándolo, para efectuar la inmersion, con una caja rellena con cascajo ó con un peso cualquiera. Colocados los postes en los puntos señalados de antemano, se unian provisionalmente entre sí y á la parte ya construida, hasta tanto que avanzando ésta, permitiera establecer los enlaces de una manera definitiva.

En Aberdeen se siguió el mismo procedimiento; en Portland se preparó una doble viga armada con tirantes y pendolon, que se corrió longitudinalmente fuera de la parte construida del andamio, y sólidamente amarra-

da á él por una extremidad; la otra lleva una horquilla para cojer en ella la cabeza del poste, que se conduce flotando con una rueda de cabrestante montada en la cabeza. El pié, lastrado como en Holyhead, se sostiene por una amarra desde una barca : esta amarra se larga poco á poco inclinándose el poste hasta llegar á su sitio. Se coje luego la cabeza con una cadena que pasa por la horquilla y se arrolla á un torno, por medio del cual se eleva y se coloca vertical el poste, sujetándolo á la horquilla con un collar.

Para clavar el pilote, se introducen espeques en la rueda de cabrestante, y por hendiduras abiertas en las extremidades, se hace pasar una cuerda sin fin que se arrolla al torno: de esta manera se imprime un movimiento de rotacion al pilote hasta dejarlo clavado. Es necesario que un obrero cuide de pasar la cuerda por las hendiduras de los espeques.

Antes de sujetar los postes con la escollera, se amarran á cuerpos muertos y se refuerzan provisionalmente con tirantes y cadenas, cuyos refuerzos son definitivos en la parte del andamio correspondiente á la boca que no ha de llevar escollera.

Establecido el andamio y pudiendo circular por él los wagones cargados de escollera, se vertia, en Holyhead, desde las cinco vías, el contenido de los volquetes, produciendo una acumulacion de materiales cuya distribucion, segun el perfil de equilibrio, se deja exclusivamente á la accion del mar que, como sabemos, es variable con la profundidad.

Mientras la escollera se depositaba en la zona á la cual no se trasmite la agitacion del mar, tomaba taludes de 1 de base por 1 de altura; pero á medida que la elevacion fué en aumento, la accion del mar se hacía sentir cada vez más, y el talud de la parte exterior tomaba más tendido, al paso que el interior, á consecuencia de la mayor tranquilidad producida por el depósito de la escollera, era mucho ménos pronunciado.

Teniendo en cuenta este resultado, y á fin de que la obra avanzara con la mayor regularidad posible, se hacian verter hácia el exterior los volquetes que circulaban por las tres vías correspondientes á aquel lado, y los de las vías restantes lo efectuaban del lado opuesto.

De este modo continuaba la operacion, hasta que el vértice de la escollera llegaba al piso del andamio, correspondiendo dicho vértice al centro del puente de servicio; pero éste no era el perfil definitivo, que no lo tomaba hasta ser trabajada la escollera por el mar.

232. Conduccion por mar de la piedra.—El embarque es la primera operacion en la conduccion por mar: se establecen en la costa (fig. 171)

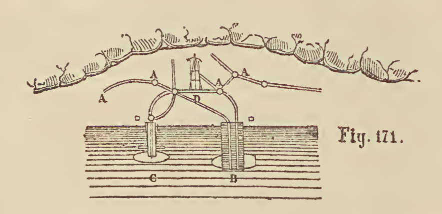


Fig. 171.

cargaderos *B*, *C*, ligados con la vía general *AA*: un apartadero *D* sirve para el depósito de wagones vacíos.

Los embarcaderos usados en Marsella eran de dos clases (lám. 3.ª); unos de báscula, para el menudo, y otros fijos para la piedra gruesa. Los primeros (fig. 1.ª, 2.ª y 3.ª) tienen una parte fija y otra móvil; la fija descansa sobre pilotes, dos de los cuales, situados en la extremidad, se elevan hasta 4,50 metros para sostener en su parte superior la báscula. Además van reforzados por tirantes y piezas auxiliares.

La parte móvil del embarcadero se compone de una vía en prolongacion de la que está sobre la parte fija, y unida á ella por medio de charnelas: los largueros que sostienen la vía, van ligados, cerca de su extremidad, por una traviesa y un tirante de hierro: sobre las cabezas de los largueros se fija una escuadra de hierro que sirve para arrostrarlos, é impide á los wagones caer al agua, si se rompiese la cadena que los retiene. La vía se fortifica, por la parte inferior, con un bastidor de hierro que se aplica contra la cara inferior de los largueros.

El cabecero que une los dos pilotes que se elevan hasta el piso superior, sostiene un balancin formado por dos largueros paralelos, mantenidos con traviesas de madera á una distancia igual al ancho de la vía. De la traviesa exterior por el lado del mar, parten dos cadenas que van á unirse á los extremos la chapa que forma el bastidor de hierro que refuerza la vía móvil. De la traviesa situada en la otra extremidad, por la parte de tierra, parten tambien dos cadenas atadas á los tirantes del cabecero, cuyas cadenas, cuando no hay ningun peso sobre la vía móvil, no están tensas y

sirven sólo para limitar la escursion de la báscula. Por último, un contrapeso, fijo en el extremo del balancin, mantiene horizontal la báscula cuando descansa en ella el wagon vacío.

Al penetrar un wagon en la báscula, el equilibrio se rompe, la via se inclina hasta dejar tirantes las cadenas posteriores y el wagon resbala sobre el plano inclinado hasta tropezar con las escuadras de hierro; la inclinacion del wagon y el efecto de detenerse repentinamente, hacen que la piedra caiga en las gabarras. Para mayor precaucion, cuando entra el wagon en el embarcadero, se engancha á una cadena arrollada en el árbol de un torno colocado entre los largueros de la parte fija, y cuya longitud es la que corresponde á la posicion extrema del wagon. Esta cadena sirve tambien para retirarlo despues de descargado.

233. Embarcaderos fijos.—Los embarcaderos fijos destinados á los cantos de mayor peso, presentan todos igual disposicion; lo mismo en Puerto-Said, que en Brest ó Marsella (lám. 3.ª, fig. 6.ª y 7.ª), están sostenidos por filas paralelas á la costa, de pilotes ligados entre sí con cepos y aspas. Constan de dos pisos, uno situado al nivel de los muelles, y otro cinco metros más elevado. Cuando la longitud de los pilotes no alcanza hasta el piso superior, terminan á la altura del inferior, uniendo sus cabezas por filas de largueros y traveseros. En este caso, se colocan en prolongacion de los pilotes, piés derechos que sostienen el piso superior, ligados á los largueros y traveseros por escuadras de hierro, y reforzados con tornapuntas y jabalcones.

El piso superior sirve para sostener un torno que rueda sobre carriles, por medio del cual se suspenden los cantos trasportados por los wagones. Para que pueda pasar la cadena que suspende las piedras, se ha suprimido la parte del suelo comprendida entre los carriles. Los cantos suspendidos, se llevan por medio del torno hasta encima de la gabarra, sobre la cual se depositan.

En Brest se usaron para el menudo otros embarcaderos fijos (lám. 3.ª, figs. 4.ª y 5.ª): están reducidos á planos inclinados situados á lo largo de un muelle, sobre el cual se estableció una vía férrea para la circulacion de los wagones, cargados con la piedra, que vertian de costado sobre los vertederos.

A veces la disposicion del embarcadero, en vez de estar en la direccion de la vía general, es trasversal á ella, como en el caso anterior, y esto su-

cede siempre que la misma vía general sirve á varios embarcaderos. Su disposicion es, sin embargo, la misma, y los wagones se detienen debajo de cada embarcadero: únicamente, para no estorbar la marcha de los demás, suele haber en cada uno un apartadero, donde el wagon permanece durante la operacion de la descarga.

234. Gabarras.—Las gabarras destinadas al trasporte de la escollera de pequeña dimension, son de báscula y pertenecen todas al mismo tipo; son verdaderos gánguiles, con sus cántaras provistas de compuertas que se sueltan en el momento de la inmersion. En Marsella (lám. 3.ª, figs. 1.ª y 3.ª), las cántaras eran dos, cada una con un par de compuertas, sujetas por dos ramales de cadena reunidos en uno. Al nivel de la cubierta se bifirca la cadena; el ramal más fuerte y corto se engancha en un escape y sostiene todo el peso de las compuertas y de la carga; el ramal más largo y delgado, se arrolla á un torno y sirve sólo para cerrar las compuertas que se han soltado al descargar la gabarra; para cuya operacion basta mover la palanca del escape y soltar la cadena de sujecion, dejando desenvolver la que se arrolla al torno. Despues de vacía la gabarra, esta cadena se envuelve en el torno, levanta las compuertas, se sujeta el segundo ramal al escape, y queda en disposicion de recibir nueva carga.

En la construccion de los diques de escollera para el encauzamiento del Loira, se han usado barcazas de 27,30 metros de eslora, 5,02 de manga, 1,58 de puntal; calan, en carga, 1,40 metros (lám. 5.ª, fig. 1.ª, 2.ª y 7.ª). Los espacios laterales forman dos flotadores ó cajas de aire reunidas por otras dos á proa y á popa: el centro está ocupado por las tolvas ó cántaras, destinadas á contener la piedra ó escollera, y provistas de compuertas dispuestas de manera, que, al quedar abiertas, no sobresalen del fondo de la gabarra, lo cual permite usarlas mientras la altura del dique no exceda del calado.

El mecanismo para abrir ó cerrar las compuertas, se sitúa entre cada dos tolvas, cubriéndolo un cobertizo de palastro para defenderlo de los choques de los cantos: el cobertizo está dispuesto en plano inclinado hácia las cántaras, para que vayan á ellas las piedras que caigan en los espacios intermedios.

Las compuertas se abren simultáneamente en todas las cántaras; sus bordes sobresalen de las paredes laterales de la tolva, y en sus extremidades lleva, una de las dos, un apéndice (lám. 5.ª, fig. 10 *A*), para soste-

ner la otra, quedando así más segura. En el intervalo que media entre dos cántaras, y próxima á las paredes, una palanca con un gancho (lám. 5.ª fig. 10.ª *B*), sostiene las compuertas. Esta palanca lleva dos bielas articuladas; la inferior como punto de apoyo, y la superior montada sobre un eje general que las une á todas; puesto en movimiento, bajan las palancas y las compuertas quedan libres, soltándose las cadenas. Vaciadas las cántaras, se levantan las compuertas por medio de las cadenas, las palancas se colocan en su sitio, haciendo girar el árbol en sentido inverso, y quedan de nuevo cerradas las compuertas.

Las gabarras de que se hace uso en la construccion de los diques de Brest (lám. 5.ª, figs. 5.ª, 6.ª y 9.ª) tambien son de palastro, aunque algo mayores. Tienen 27,90 metros de eslora; 6,20 de manga; 2,30 de puntal; y calan en rosca 0,55 metros : su porte es de 120 toneladas. Las cántaras, en número de cinco, son dobles, y las paredes verticales; de manera, que tienen la forma de un paralelepípedo, dividido en dos partes por un tabique vertical, cada una de ellas con dos compuertas. Las compuertas están sujetas (lám. 5.ª, fig. 10.ª, *D*) por un gancho ó tope análogo al de las del Loire, pero cuyo mecanismo es más sencillo. Una barra vertical atraviesa la cubierta de la gabarra y termina por la parte inferior en un saliente que sostiene las compuertas; haciendo girar 90° la barra, suelta el tope las compuertas y las deja caer. Una grua colocada entre dos cántaras sirve los cuatro compartimientos que le corresponden, y levanta las compuertas por medio de las cadenas suspendidas de ella.

Cuando la profundidad en que debe sumergirse la piedra no llega á dos metros, se emplea otra clase de barcazas, que conducen sobre cubierta los wagones cargados con el material. En Plymouth se usaron gabarras de esta especie, cuyo porte era de 60 á 80 toneladas : sobre la cubierta y en la bodega, se colocaron vías con carriles, con dos plataformas giratorias en la popa, y sobre cubierta un cabrestante para sacar los wagones fuera de la bodega.

El embarque se practicaba por planos inclinados ó por gruas, segun el estado de la marea; el torno colocado sobre la cubierta, subia los wagones desde la bodega, por un plano inclinado, á la báscula, en donde rompian el equilibrio y descargaban. La báscula recobraba su posicion cuando el wagon quedaba vacío, y descendia por el plano inclinado que antes habia servido para elevarlo.

Las barcas del Loira (lám. 5.ª, figs. 3.ª, 4.ª y 8.ª), son más perfectas y de mayor cabida (unos 50 metros cúbicos). Tienen 21,50 metros de eslora, 4,25 de manga, 1,15 de puntal, con un calado de 0,40. Llevan, transversalmente, vías por las cuales circulan plataformas con wagones montados sobre ellas. El bastidor del wagon descansa en dos pares de ruedas, uno situado en la mitad de la caja y el otro en la extremidad opuesta á aquella, por donde vierten la piedra. La caja es independiente de la plataforma, á la cual está unida solo por un eje que le permite bascular, si se suelta una clavija que la sujeta al bastidor mientras la gabarra está en marcha. Cuando llega al punto en que debe verter la piedra, se quita la clavija, se pone en marcha el wagon sobre los carriles, por medio de la manivela (lám. 5.ª, fig. 10.ª *C*), que mueve una rosca engranando en la rueda montada sobre el eje del wagon; la gabarra se inclina, toma el wagon un movimiento de descenso, y con el choque contra el borde de la barca, oscila y vierte la carga. La clavija se saca antes de moverse el wagon, para que, en el momento del choque, pueda descargar la piedra; de otro modo podria aquel caer al agua, si bien esto se evitaria sujetando las ruedas de atrás.

Despues de vacía la caja, se levanta, se sujeta al bastidor con la clavija y se vuelve al centro de la gabarra por medio del manubrio antes descrito. La varilla lleva además un gancho para ayudar al movimiento, ó efectuar por medio de él el arrastre.

En las obras del puerto de Barcelona, se utilizaron barcas de la misma especie para transportar por mar la piedra. Las dos vías de la cántera terminaban en la costa en un embarcadero flotante, con seis vías servidas por una trasversal con su carreton trasbordador, que trasladaba los wagones á una de las seis. Las gabarras llevaban otras tantas, correspondiéndose con aquellas, salvándose la diferencia de nivel entre el embarcadero y la gabarra por piezas adicionales. Una vía trasversal, inferior á las de la cubierta, sirve, con su carreton trasbordador, para hacer pasar los wagones á una plataforma oscilante, que se inclina con el peso y vierte los cantos. El mismo trasbordador conduce los wagones vacíos á dos vías de depósito, para dejar libres las otras y facilitar la descarga. Más adelante tendremos ocasion de detallar disposiciones análogas, aplicadas en Argel, Bastia y otros puertos, para el trasporte é inmersion de sillares artificiales.

Las barcas empleadas en la construccion del dique de Biarritz, son

todavía más sencillas que las descritas: la cubierta consta de cuatro planos inclinados que convergen hácia un pozo central de seccion rectangular, rodeado de una valla formada con maderos horizontales. La piedra se coloca sobre cubierta sostenida por las vallas; cuando se la quiere sumergir se quitan éstas, y la piedra cae al mar por el pozo.

235. INMERSION DE LA PIEDRA. —Las gabarras son remolcadas en trenes por un barco de vapor: el número de barcas de cada tren depende de la fuerza del remolcador, del porte de las barcas, del trayecto y del estado del mar. Los puntos de descarga se marcan por boyas ó valizas, y al llegar allí, se abren las compuertas dejando caer la piedra.

Los cantos de mayores dimensiones se arreglan sobre una plataforma que se apoya contra el borde de las gabarras, sentándolos sobre rodillos dispuestos en el sentido de la eslora de la barca; se procura colocar los cantos mayores cerca del borde, para que lanzándolos más fácilmente al mar, el equilibrio se rompa y produzca un movimiento de oscilacion tal, que los demás cantos rueden á lo largo del plano inclinado y caigan al mar. A fin de que los trabajadores no sean maltratados por la piedra, ó arrojados al mar en los balances, se disponen, á lo largo de los costados de los barcos, perchas con tacos de madera, á las cuales se suben los trabajadores y ayudan, de este modo, al movimiento. Antes de principiar la maniobra se ha tomado la precaucion de amarrar la barca por la proa y la popa.

En el dique de San Nicolás del puerto de Bastia, las gabarras llevaban á los costados, cajas cargadas con el menudo, y una vía férrea central para distribuirlo entre ellas: los cantos gruesos se depositaban sobre cubierta. Se principiaba vaciando todas las cajas de un costado, lo cual producia un desequilibrio y las oscilaciones consiguientes á él, que arrojaban al agua los cantos depositados sobre cubierta.

Con los cantos de los revestimientos, y para la parte del dique que está fuera de las aguas, no es posible aplicar el anterior procedimiento; se hace uso de gruas ó cábrias montadas sobre el mismo dique ó sobre balsas ó gabarras. En Plymouth las gruas usadas eran de madera, y las más sencillas, de pescante. En Cherburgo, en 1803, se montaron cábrias para el asiento de los grandes cantos de 2 á 3 metros cúbicos con que se revistió la escollera en la proximidad de la baja mar. En la parte del dique ya fuera del agua, se clavaron, á la distancia de 20 metros, gruesos postes de 10 á 11 metros de elevacion, que se reforzaban con tornapuntas,

y cuyo pié se aseguraba con escollera. Además de este refuerzo, se ligaron tambien á la escollera con tres vientos, provistos de los aparejos que servian para tesarlos. De la extremidad de los postes colgaban los aparejos destinados á amarrar los cantos y á removerlos : cuando estos excedian de medio metro cúbico, se combinaban dos aparejos, ó se armaba una cábria intermedia.

Los cantos se sacaban de los barcos de trasporte por medio de los aparejos de los mismos, auxiliados por las cábrias montadas sobre el dique. Esta operacion en extremo trabajosa, requeria una mar tranquila que permitiese á los buques atracar ó varar sobre una banqueta preparada al efecto.

En Marsella (dique Napoleon) se hizo uso de una grua giratoria, montada sobre una barca, y parecida á la de equilibrio constante descrita al tratar de la explotacion de las canteras (lám. 4.ª, figs. 7.ª y 8.ª). Se suprimió el contrapeso móvil que embarazaba las maniobras, sustituyéndolo con un contrapeso fijo en la popa, y con una segunda barca ligada á la primera por medio de las vigas *A*; consiguiendo con ello dar estabilidad á la grua, amortiguando los balances de la barca sobre la cual iba montada, é impidiéndola zozobrar en las diversas posiciones de los cantos, ya al cogerlos de las gabarras, ya al sentarlos en la obra. La placa giratoria y el bastidor de la grua son mayores que en la de equilibrio constante, y ocupan todo el ancho de la barca.

Tales son los procedimientos y aparatos usados en este género de obras; otros, que describirémos al tratar de los sillares artificiales, les son igualmente aplicables.

CAPÍTULO XIII.

FABRICACION DE SILLARES ARTIFICIALES.

—

RESUMEN.

236.—DIFERENTES CLASES DE SILLARES ARTIFICIALES. — Cuando el volúmen de los cantos excede de 3 á 4 metros cúbicos, ó no se encuentra piedra á propósito para escollera, se apela á la construccion de sillares artificiales, cuya dimension ha crecido progresivamente desde 10 metros cúbicos hasta 25. No solo como escollera se han empleado los sillares artificiales en las obras de mar, tambien se usaron en construcciones concertadas, en las cuales el volúmen ha alcanzado cifras muy superiores á las citadas, llegando á 45 metros cúbicos en Brest y á 152 en Dublin. Los ingenieros ingleses, que en un principio demostraban repugnancia por este material, hoy lo han puesto de moda, segun lo que lo prodigan, así en el relleno, como en el paramento de los diques; moda un tanto peligrosa para imitada en otras naciones que no dispongan del excelente cemento de Portland, único que resiste á la descomposicion por el agua del mar.

Los sillares artificiales se fabrican con dos clases de materiales; el hormigon es el más ordinariamente usado, aunque son numerosos los ejemplos de la mampostería, que se aplicó en Brest, Cherburgo, Biarritz y otros puertos. En Puerto-Said se fabricaron con mortero sólo, sin mezcla de piedra.

El hormigon y la mampostería tienen sus ventajas relativas; el hormigon permite aprovechar cualquiera clase de piedra, así como la mampostería evita el empleo de moldes, incómodos y embarazosos cuando los sillares se fabrican entre la baja mar y la plea, ó en un sitio expuesto á los embates de una mar agitada. Tambien los sillares de mampostería presentan la ventaja de economizar mayor cantidad de mortero: se construyen, como otro macizo cualquiera fuera de agua, sin más precaucion que la de formar las aristas con sillarejos desbastados. Como resistencia, el hormigon presenta una superficie de adherencia más extensa, aunque es más compacto el material que entra en la mampostería, y encierra un peso mayor bajo el mismo volúmen. Además, el apisonado del hormigon tiende á elevar el morterío y á separar, en las diversas capas, los materiales que lo componen, formándose estratos sin adherencia que debilitan la masa. A medida que el volúmen de los sillares aumenta, el empleo de la mampostería resulta (en igualdad de condiciones) más ventajoso que el del hormigon, á menos que, como en Argel, se trate de grandes macizos (de 60 á 120 metros cúbicos), construidos en el sitio mismo de la obra.

Rara vez en las escolleras se emplean los sillares artificiales formando el cuerpo del dique; sin embargo, tambien se ha hecho uso de ellos en esta forma, en Argel, Biarritz, y recientemente en Puerto-Said, como más económico que el empleo de la piedra, y sobre todo, para acelerar el progreso de las obras. El uso más general en las escolleras es para revestimiento, segun se ha practicado en los diques de un gran número de puertos, excepto en los ingleses.

Los sillares de revestimiento de un dique, sobre la baja mar, suelen construirse, como en Cherburgo, en el sitio mismo de su empleo, aunque lo general sea construirlos en talleres especiales, donde se dejan consolidar algunos meses antes de trasportarlos á la obra. Cuando los talleres se establecen sobre el mismo dique, como en Argel, la instalacion es incómoda y la operacion marcha con lentitud.

En Cherburgo se utilizó, para taller, la banqueta Sur del dique, que permitia colocar dos y á veces tres filas de sillares; lo cual suministraba, en una extension de 4 kilómetros, un vasto taller bien abrigado de los temporales, escusando un largo trasporte desde la costa.

237.—Disposicion de los talleres.—A todos los talleres se aplica la misma organizacion, que difiere solo en los medios y aparatos, más ó ménos per-

fectos, segun las circunstancias. Las mismas combinaciones, y con frecuencia hasta la copia de los detalles, vemos en Argel, en los diques la Joliette y Napoleon del puerto de Marsella, en Biarritz, Cartagena y Puerto-Said. Se componen (lám. 6.ª) de varias vias establecidas para llevar los materiales con que se fabrica el hormigon, al cual, despues de fabricado, se le trasporta á su vez hasta los moldes dispuestos por filas paralelas. Entre estas filas corren gruas que suspenden los sillares para llevarlos del taller á la obra. De lo dicho resulta la conveniencia de fabricar el hormigon sobre una plataforma más elevada que el taller en donde se moldean los sillares, y por eso el taller del hormigon consta ordinariamente de dos pisos, que comunican entre sí, por básculas (Marsella), ó por planos inclinados (Puerto-Said y Cartagena).

En ninguna obra se llevó más lejos que en Marsella la perfeccion de los detalles en la organizacion de los trabajos, aunque la idea en sí, es general para todos los diques, y los procedimientos están tomados de las obras de Argel; por eso, en lo que sigue, nos referiremos á ambos puertos, contentándonos con indicar las modificaciones introducidas en otros talleres.

238.— Fabricacion del hormigon.—En Marsella (dique Napoleon), la piedra, conducida por mar desde las canteras, se depositó en la playa, de donde tambien se sacaba la arena para el mortero. De estos depósitos partian ramales de via unidos entre sí por placas giratorias, reuniéndose todas en dos vias paralelas, destinadas una á la piedra y otra á la arena. Debemos agregar á éstas la ocupada con el depósito de los wagones vacíos, desde la cual se distribuian á los puntos en donde eran necesarios (láms. 6.ª y 7.ª).

Las dos vías paralelas terminaban respectivamente en los platillos de una báscula, cuyos tableros llevaban carriles en prolongacion con los de las vías, interrumpidas en la parte que correspondia á los platillos. La exterior servia para los materiales que entran en el mortero, es decir, para la arena y la cal; y por la interior pasaban los destinados á formar el hormigon; esto es, el mortero y la piedra machacada. Los depósitos de cal y arena, situados de distinto lado de la báscula, se reunian en el mismo platillo, marchando en sentidos opuestos, para ser elevados por medio de ella al piso superior, en las proporciones convenientes para componer el mortero.

La báscula ó balancin la formaban, segun dijimos, dos platillos de madera suspendidos de las extremidades de una viga armada, apoyada en

su centro sobre un armazon de madera. Los dos brazos del balancin, aunque iguales, tienen momentos diferentes, y uno de ellos tiende constantemente á descender. Debajo de este brazo, se sitúa una pequeña máquina de vapor, alimentada por la caldera de la principal, para mover el balancin por el intermedio de una biela articulada, unida en sus extremidades al balancin y al émbolo. Las correderas distribuidoras del vapor se mueven á mano, segun se intente hacer suba ó baje uno de los platillos de la báscula. Estos llevan cuatro guias ó anillas, una en cada esquina del platillo que corren por varillas de hierro fijas en los ángulos de la abertura que aquel ocupa: de esta manera, los platillos, en su movimiento de ascenso y descenso, se conservan horizontales. Los platillos llevan además un trozo de vía que llena el vacío de la interrupcion en la superior y en la inferior.

Cuando el platillo ha llegado á la plataforma superior, cargado con la arena ó la cal, se encuentra en otra vía superpuesta á la inferior y á lo largo de la cual están situados los malacates. Consisten (lám. 7.ª) en una artesa anular de 4,40 metros de diámetro, de seccion de un trapecio, cuyas bases tienen respectivamente 0,70 y 0,50 metros, y de 0,50 metros de altura. El eje vertical, puesto en comunicacion con el árbol que mueve todos los aparatos del taller, lleva montadas tres ruedas ó cilindros horizontales, dispuestos á diferentes distancias del eje, de manera que, una de ellas recorre la parte exterior de la artesa, otra la central, y la tercera la interior, con lo cual pasan por encima de toda la masa: el cuarto brazo, lleva un rastrillo para remover y revolver los materiales, á fin de hacer más íntima su mezcla. En el fondo de la artesa se dejó una abertura de 0,45 metros por 0,10, cerrada con una trampa, sujeta por una aldabilla ó cerrojo, que se abria para dejar paso al mortero despues de fabricado. Esta operacion se practicaba desmontando el rastrillo y poniendo en su lugar una raedera que barria el mortero haciéndolo caer por la abertura.

Entre los malacates se situaban los depósitos del agua destinada al amasado del mortero, y desde ellos se arrojaba en las artesas con cubos. Primero se apagaba y amasaba la cal, deshaciéndola con el agua y los cilindros, y cuando estaba desleida, se echaba la arena poco á poco.

En los malacates usados en Puerto-Said se introdujeron algunas mejoras; los rastrillos eran tres, interpolados entre las ruedas. Consistian (lámina 7.ª, figs. 4.ª y 5.ª) en placas helizoidales; los cubos, sobre los cuales están montados los brazos del malacate, tienen un pequeño juego ascen-

sional para obedecer á la resistencia que opone la mezcla cuando se acumula delante de las ruedas, de manera que puedan subir sobre el material amontonado y aplastarlo. La raedera (lám. 7.ª, fig. 6.ª), no se coloca en uno de los brazos de los rastrillos, sino pendiente de otro ligado con uno de ellos: cuando llega el momento de descargar la artesa, un obrero baja la raedera, se coloca de pié sobre ella, en una pequeña plataforma *C* que lleva encima, y con su peso obliga á la raedera á barrer el mortero. Debe cuidar el obrero, cuando pasa por encima de la abertura, de suspenderse del brazo de la raedera, para no pesar sobre ella, á fin de que el mortero caiga con facilidad.

El mortero es recogido en wagones montados sobre vías situadas al nivel del piso inferior del taller de fabricacion del hormigon, y correspondiendo debajo de las artesas. Las vías enlazan, por medio de placas giratorias, con la general para conducir la piedra, que desemboca en el otro platillo de la báscula, por el cual suben los componentes del hormigon, es decir, el mortero y la piedra machacada, como por el opuesto subian los componentes del mortero; pero con una diferencia, los wagones vacíos de la cal y de la arena retrocedian para bajar por el mismo platillo por donde habian subido, combinando su descenso con el ascenso por el otro platillo de los cargados con mortero ó piedra. Los wagones vacíos destinados á estos materiales, continuaban su marcha por una prolongacion de la vía superior, hasta llegar á otra báscula de un solo platillo, ó romana. La extremidad del balancin de la romana, lleva un platillo exactamente igual á los descritos, y la opuesta, una cadena arrollada á un torno que mueve el platillo perfectamente equilibrado, de manera que es muy pequeño el esfuerzo para subirlo ó bajarlo con los wagones vacíos: estos se depositan sobre la vía de que antes hablamos, para distribuirlos á los puntos respectivos.

En Cartagena se modificó ligeramente, y con ventaja, esta disposicion: los malacates se establecieron á la altura del terreno, lo cual evitaba el ascenso de la cal y de la arena para componer el mortero, y de la piedra para el hormigon. Debajo de los malacates (lám. 6.ª, fig. 4.ª) se escavó una vía llamada *honda*, por la cual circulan los wagones del mortero, y de allí pasan, por medio de un carreton trasbordador, á la vía de un plano inclinado, por el cual suben á la plataforma superior, donde se fabrica el hormigon. El plano inclinado es de una sola vía, y sirve igualmente para el ascenso de los wagones cargados con mortero y para el descenso de los va-

cíos. Los wagones de la piedra vienen del lado opuesto, y retroceden por la misma vía despues de dejar la carga.

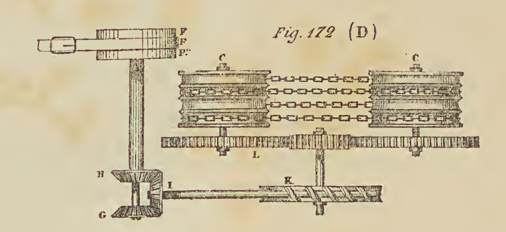
La maniobra, para evitar tropiezos y dificultades por el encuentro de los wagones vacíos con los cargados, se practicaba en la forma siguiente. Los malacates eran dos; en el más distante del pié del plano inclinado, la trampa de la artesa correspondia encima de la vía *A*, llamada honda, sobre la cual se situaban los wagones que habian de cargar de mortero en este malacate. El segundo de estos, llevaba su abertura un poco separada de aquella vía, de manera que los wagones salian de ella, colocándose en una trasversal *B*, enlazada con la principal por medio de una placa giratoria. Mientras el wagon situado en ella cargaba, bajaba por la vía honda el cargado en el otro malacate, subia el plano inclinado, descargaba y retrocedia á cargar de nuevo en el mismo malacate. Cuando habia pasado el primer wagon, salia de la vía trasversal el segundo y practicaba iguales operaciones, durante la carga del primero. Debemos convenir, sin embargo, en que hay pérdida de tiempo con este arreglo, y que fuera preferible una segunda vía para llevar los wagones vacíos á los malacates, con lo cual se podia aumentar el número de estos, lo suficiente para que nunca holgasen, ni ellos ni el plano inclinado.

La composicion de los sillares, fabricados exclusivamente con mortero, hizo más sencillas en Puerto-Said todas estas operaciones, suprimiéndose las relativas á la fabricacion del hormigon. La plataforma de los malacates estaba á 4,55 metros sobre el suelo, subiéndose á ella por un plano inclinado de dos vias (lám. 6.ª, fig. 7.ª), de 70 metros de longitud y 5 de ancho, con una pendiente de 6 1/2 por 100. La parte superior del plano inclinado enlazaba con la plataforma por un tramo horizontal de 15 metros. Todo el plano inclinado se construyó de madera, encima de caballetes distantes 3,50 metros, sobre los cuales descansaban los largueros de las vías.

Los wagones cargados de arena ó cal subian por una vía, mientras descendian por la otra los vacíos; esto lo practicaban alternativamente, bajando vacíos por la misma vía, por la cual habian subido cargados. La cadena sin fin (lám. 6.ª, fig. 7.ª) lleva la siguiente marcha. Desde *A*, sube por el plano inclinado hasta su estremidad *B*, en donde va á arrollarse á un torno *C* de doble cilindro helizoidal, del cual, por una série de poleas *D*,*D'*, de cambio de direccion, pasa á la segunda vía por la polea *B'* hasta el fin del plano en *A'*, en donde se liga con el otro ramal por inter-

medio de las poleas E y E'. Las poleas A,A', B,B' están en un plano vertical paralelo al longitudinal del plano inclinado: las D,D', E,E', en un plano vertical trasversal.

El movimiento se dá, en uno ó en otro sentido, por un tambor. F (figura 172), al cual se arrolla la correa de trasmision de la fuerza desde la



máquina de vapor. El tambor consta de tres poleas; la central F es loca, para interrumpir el movimiento; la F' comunica con la rueda cónica G, la F'' con la H, y segun que la correa pase por una de las tres poleas, así la cadena del plano inclinado permanecerá inmóvil, ó se moverá en uno ó en otro sentido. La trasmision al torno se verifica por la rueda cónica I, el tornillo sin fin K y las ruedas L. Esta disposicion que permite dar á la cadena el movimiento alternativo en cada vía, sirve para subir los wagones cargados por la misma vía por la cual descienden los vacíos, siendo encontradas las operaciones en cada vía.

El mortero, despues de manipulado, se recoge en wagones que van directamente á los moldes, para fabricar los sillares.

Volviendo á los talleres de Marsella, y continuando con la fabricacion del hormigon, vemos en la lám. 7.ª un segundo piso, inferior 1,50 metros á la plataforma por donde circulan la piedra y el mortero, con vías trasversales, sobre las cuales corren las hormigoneras (lám. 7.ª figs. 7.ª, 8.ª y 9.ª) montadas en carretones. Las vías trasversales corresponden á planos inclinados ó vertederos, que vacian en las hormigoneras el contenido de los wagones.

Las hormigoneras son cilindros *A* de hierro que llevan en su interior aspas *D*, para mover y revolver los materiales, cuando se comunica al cilindro un movimiento rápido de rotacion. Para esto, el eje *K* engrana con otro auxiliar *E*, el cual se mueve por medio de la polea *C* y de la correa que lo enlaza con el árbol del taller. Lleva además una puerta *B*, sujeta con un pestillo, que se abre, ya para recibir dentro los materiales, ya para verter fuera el hormigon. A fin de conocer si el hormigon está suficientemente revuelto, el eje del cilindro lleva un apéndice ó saliente *H*, que hace correr un diente á la rueda cada vez que da una vuelta: cuando ha recorrido todos los dientes, el apéndice se aloja en una entrada ó muesca, de modo que deja de moverse la rueda. Entonces el número de vueltas es ya suficiente para obtener una buena mezcla.

La operacion se practica en la forma siguiente: las hormigoneras se arriman á los vertederos; reciben los materiales y luego se corren á la otra extremidad de la vía, en donde se pasa la correa por la polea *C*, cuidando de acuñar el carreton de manera que no retroceda, y de dar al cilindro el número de vueltas necesario. Terminada la operacion, se aflojan las cuñas y se suelta la correa: el hormigon se encuentra entonces en disposicion de pasar á los moldes.

Los wagones de piedra y de mortero, despues de vaciado su contenido en las hormigoneras, continuaban su marcha hasta la romana colocada á la extremidad de la plataforma, para descender á la vía de depósito, desde la cual se distribuian.

En Puerto-Said, estas operaciones fueron escusadas, por componerse los sillares solo de mortero; este, segun queda dicho, pasaba de las artesas de los malacates á los wagones, y de estos directamente al taller de fabricacion de los sillares.

239. Fabricacion de los sillares.—El taller destinado á la fabricacion de los sillares (lám. 6.ª) se elige bastante espacioso para contener desahogadamente todos los que se puedan fabricar en un intervalo de tres á cuatro meses; tiempo necesario para la consolidacion antes de sentarlos en la obra: la superficie se arregla dejándola plana, y dándola una ligera pendiente en el sentido del arrastre, para facilitar el embarque. Las filas se disponen, por regla general, paralelas á la playa, aunque en algunos casos especiales conviene disponerlas en sentido perpendicular á ella. Ordinariamente el espacio falta, y se aprovecha todo el que deja disponi-

ble la organizacion de los trabajos; así hemos visto [236] utilizar en Cherburgo la banqueta Sur del dique, variando, el número de filas de sillares, segun el ancho, de una á tres. En Argel (lám. 6.ª, fig. 2.ª) se aprovecharon como taller los trozos de dique ya construidos.

Los moldes se disponen en filas, despues de esparcir por el suelo una lijera capa de arena, para que los sillares no adhieran al terreno. En Argel, el hormigon se trasportaba á brazo, y las vías de trasporte de los sillares eran ménos anchas que éstos y se sentaban antes de armar encima los moldes.

En la misma obra se establecieron dos talleres con disposiciones algo diferentes; uno de ellos (lám. 6.ª, fig. 2.ª) servia para la fábrica de los sillares que debian de ser conducidos por el dique al arrojarlos al mar; y otro (lám. 6.ª, fig. 1.ª) para aquellos cuyo trasporte se verifica por mar. En el primero, los sillares se ordenaron en filas paralelas á la costa, y en el segundo en filas perpendiculares á ella; disposicion ménos sencilla, motivada por la necesidad de servir un gran número de embarcaderos. En Marsella se imitó la primera de Argel, y en Cartagena la de Marsella, aunque complicada por las condiciones del terreno, que obligaron á dividir en dos el taller, por la vía de conduccion al embarcadero. Por último, en Puerto-Said los sillares formaban grupos de cuatro hileras.

Los moldes (lám. 8.ª) son de una construccion sencilla; los componen cuatro tableros de madera que se arman y desarman cuando conviene. Los usados en Argel son de dos clases: unos, con cuñas para sujetar los tableros, están formados (lám. 8.ª, figs. 1.ª, 2.ª, 3.ª y 4.ª) por 7 montantes verticales los tableros laterales, y 4 los de cabeza, ligados por dos carreras: en los menores ó de cabeza, la carrera superior es de quita y pon. Los montantes sostienen los tablones horizontales clavados á ellos por la parte interior.

La manera de armarlos es muy sencilla; las carreras llevan en sus extremos una muesca en sentido encontrado en cada clase de tablero, y en cada tablero: por ejemplo, las carreras inferiores de los tableros longitudinales, tienen la muesca hácia abajo y encajan en la de los tableros de las cabezas que la tienen hácia arriba. Unidos los tableros, se colocan las traviesas móviles de los de frente, que sujetan á la vez las cabezas de los montantes y las carreras de los tableros longitudinales, en cuyas muescas encajan. Despues de ajustados los cuatro tableros, se sujetan con cuñas y queda armado el molde.

En otras clases de moldes usados en las mismas obras (lám. 8.ª, figuras, 5.ª, 6.ª y 7.ª), los tableros cortados en bisel se juntan á tope, sujetándose por medio de herrajes ó visagras, en los cuales se introducen pasadores. Para desarmar las cajas, basta aflojar las cuñas ó sacar los pasadores, y los tableros se separan.

En Marsella y en Puerto-Said se perfeccionó el sistema de union; los tableros laterales se unian á los de cabeza por simple contacto, sujetándolos por cuatro barras horizontales (lám. 8.ª, figs. 8.ª, 9.ª, 10.ª y 16.ª), terminadas en rosca, que se apretaban con dos tuercas. Por un exceso de precaucion, una cercha de hierro (fig. 15.ª) arrostraba los tableros laterales en las cajas usadas en Puerto-Said.

Los tableros de cabeza, en los moldes usados en Marsella (lám. 8.ª, figura 10.ª), difieren de los laterales; se suprimen en ellos los montantes intermedios, y en cambio se refuerzan con una traviesa horizontal; esta disposicion obliga á colocar los tablones verticales, á diferencia de los longitudinales, que se colocan horizontalmente. Los montantes van ensamblados á las carreras por dobles espigas, y los de las cabezas son dobles.

Para armarlos con facilidad se usó en Puerto-Said una cábria (lám. 8.ª, figs. 11.ª, 12.ª y 13.ª), compuesta de una viga horizontal, apoyada sobre dos montantes arriostrados con tornapuntas; tiene el vano que corresponde á dos cajones, á fin de poder desarmar los de una fila y trasladarlos á la inmediata.

Armados los moldes, se espolvorea con arena el suelo, si antes no se ha hecho, para que el hormigon no adhiera á él. Se colocan además, al través, dos pequeñas canales formadas por tres tablas, dos de canto y una cubriendo: estas canales dejan en el sillar las ranuras por las cuales pasan las cadenas que servirán luego para la suspension.

Terminados estos preparativos, se procede á llenar los moldes: en Argel se conducía el hormigon á brazo, sistema lento y caro; en Marsella, Puerto-Said y Cartagena, se estableció sobre cada fila de cajones un ferrocarril, asentado sobre los bordes de las cajas y sobre traviesas intermedias (lám. 6.ª, fig. 3.ª). Estas filas de vías están al mismo nivel que las que recorren las hormigoneras, y á ser posible (aunque no es indispensable) en prolongacion de ellas. Una vía trasversal, con su carreton trasbordador, sirve para hacer pasar las hormigoneras á la fila que convenga, y llegar, por la vía correspondiente, al sillar que se fabrica.

El hormigon se esparce uniformemente y se apisona con pisones de hierro. Se ha observado en los materiales una separacion ocasionada por el apisonado, formándose capas alternadas de piedra en seco y de mortero; y por esto propronen algunos ingenieros no apisonar. El apisonado da, sin embargo, mucha consistencia, y el mal resultado que se observa, puede desaparecer empleando el mortero con muy poca agua, de manera que se aglutine con la piedra. Los sillares, al cabo de pocos dias, han adquirido bastante consistencia para desarmar los moldes y armarlos más léjos: la vía queda entonces sentada sobre los mismos sillares.

En Cherburgo, la mayor parte de los sillares se fabricaron con mampostería: se eligió como taller la banqueta Sur del dique [236] que permitia colocar filas trasversales, de uno á tres, y ordinariamente de dos sillares. Entre dos de cada fila mediaba una distancia de 0,50 metros, y se dejaba tambien este intervalo entre el dique y el sillar más próximo á él, para acomodarse á la longitud de las gabarras que debian suspenderlo y trasportarlo.

En Biarritz se organizaron dos talleres, como en Argel; el del Oeste para la conduccion por tierra, de los sillares lanzados al mar por medio de wagones de báscula; y el del Este destinado á los que debian ser trasportados con el auxilio de flotadores. En el primero, se estableció una vía central más baja que las demás, prolongada hasta la cabeza del dique; y las de servicio del taller, de uno y otro lado, perpendiculares á ella. Un carro trasbordador pone en comunicacion todas estas vías que, como la central, tienen una pendiente de un 2 por 100.

En Kurrachee (lám. 6.ª, fig. 5.ª), tambien se adoptó una vía central, con tres filas de sillares de cado lado, sin vías de servicio, porque las gruas (lám. 10.ª, fig. 1.ª) tenian suficiente vano para servir el taller. Las vías auxiliares quedaban reducidas á dos laterales, para el trasporte del hormigon, que tambien se llevaba á los moldes por una grua especial (lám. 10.ª, figuras 4 y 5).

El taller de Cartagena (lám. 6.ª, fig. 4.ª) tiene, como éste, una vía central, pero su disposicion general imita los talleres de Marsella. La comunicacion entre las vías del taller, interrumpida por la central, se restablece con un puente montado sobre un carreton, que se fija con cuñas en la vía por donde circulan las hormigoneras.

En Kustendjee (lám. 6.ª, fig. 6.ª) son tres las vías dispuestas sobre la

parte construida del dique; la central sostenia la artesa donde se manipulaba el hormigon, y las laterales servian para la fabricacion y trasporte de los sillares. La obra tenia pequeña importancia; se queria prolongar un espigon ó pequeño dique y se carecia de espacio suficiente para establecer el taller. Se destinó á este objeto la parte vieja del dique (lám. 6.ª, fig. 6.ª), y se asentaron sobre él las tres vías antes mencionadas. Los moldes se armaban en plataformas montadas sobre ruedas, que servian para conducir á la obra los sillares, despues de desarmar las cajas. Otra plataforma más extensa, al nivel del borde superior de los cajones, ocupaba la vía central, y en la artesa, colocada en cima, se fabricaba á brazo el hormigon. La misma plataforma llevaba en la parte anterior la piedra machacada, y la cal y la arena en la posterior. Despues de llena una caja, se corre la plataforma con la artesa á la siguiente, y así se continuaba.

En Brest se fabricaron sillares de mampostería con las aristas de sillarejo: los mayores cubicaron 45 metros con un peso de 110 toneladas. Las ranuras, por donde debian pasar las cadenas, no eran horizontales como en los otros sillares, sino verticales, de forma rectangular y de 0,12 metros por 0,40 (lám. 13.ª, figs. 6.ª y 7.ª). Estas ranuras ensanchan en la parte inferior, de manera que, los ganchos de las tenazas de suspension, puedan alojarse en el ensanche, sin tocar con ellos al suelo. Las ranuras ocupaban el interior de algunos sillares, y las caras laterales de otros. Para que los ganchos no desportillasen el sillar, se empotraba en la fábrica, durante su construccion, para cada ranura, un tablon de madera de 0,40 por 0,50 metros, forrado de chapa de hierro y agujereado en el centro, en correspondencia con la ranura.

Se principió por construir los sillares en la playa, durante la marea baja, para aprovechar, como en Cherburgo, el poder de flotacion de la marea y facilitar las operaciones de la suspension. Semejante disposicion no dejaba ni espacio ni tiempo suficiente para el trabajo; y se prefirió construirlos fuera del alcance de las aguas, sobre dos gradas (lám. 13.ª, figs. 1.ª, 2.ª y 3.ª) parecidas á las usadas en la construccion de los buques. Estas gradas, con un 6 por 100 de pendiente, podian contener cada una, de 25 á 30 sillares; las forman tres largueros longitudinales ó anguilas, apoyados sobre muros de fábrica, y arriostradas de trecho en trecho por traviesas.

Sobre los largueros (lám. 13.ª, fig. 3.ª) se apoyan plataformas horizontales forradas de chapa de hierro, encima de las cuales se fabrican los si-

llares: las plataformas resbalan sobre las anguilas ó largueros de la grada. Para facilitar el movimiento y dar estabilidad en el sentido trasversal, las anguilas terminan en su parte superior por una superficie convexa, haciendo cóncava la inferior de los apoyos de las plataformas, para amoldarse á aquella y evitar las oscilaciones trasversales.

Mayores sillares se usaron recientemente en Dublin, en la construccion de un muelle, aunque más que sillares eran trozos completos de un muro de fábrica. Cubican 152 metros, pesando 350 toneladas, y se construyeron sobre un muelle como una fábrica cualquiera. En el fondo del sillar (lám. 17.ª, figs. 1.ª y 2.ª) se empotraron dos viguetas de fundicion, dos agujeros de seccion rectangular en sus extremidades, correspondiendo con cada una con un tubo del mismo metal, por el cual pasan las cadenas y tenazas de suspension, en igual forma que en los sillares de Brest.

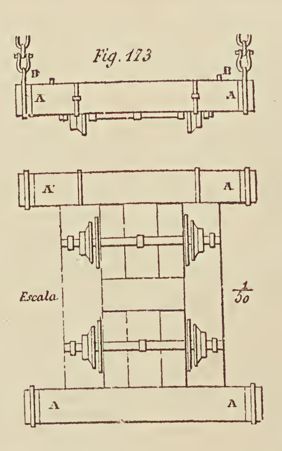
Hasta ahora no se han usado, que sepamos, en las obras de puertos, aunque se han propuesto sillares huecos para disminuir el peso, facilitar el manejo y su empleo en obra: Moffat, segun veremos en otro capítulo, aplicó en Ardrossan un procedimiento parecido, aunque no idéntico. Usó cajones flotantes, cuyas paredes eran de fábrica y el fondo de fundicion ó de madera.

240. Trasporte de los sillares al embarcadero.—Al cabo de algunos dias, más ó ménos, segun las cualidades del mortero, se quitan los tableros, aunque necesitan los sillares permanecer en el taller, *por lo ménos*, dos ó tres meses, hasta que su completa consolidacion les permita ser sumergidos. En Argel quedaban los sillares sobre la vía establecida préviamente [239], más estrecha que ellos, por la cual se movian los carretones que debian trasportarlos. En Marsella y Cartagena, la vía era más ancha que los sillares, y terminada una fila, se levantaba la vía establecida sobre ellos [239] para que las hormigoneras circulasen, y se asentaba sobre largueros en los espacios libres que mediaban entre sillar y sillar. En Puerto-Said, las filas de sillares formaban grupos de cuatro [239], dejando, entre cada dos grupos, una calle para colocar en las dos contiguas, los carriles por los cuales circulaba una grua de doble movimiento (lám. 9.ª, fig. 5.ª, 6.ª y 7.ª). A medida que esta suspendia los sillares, se sentaba la vía en una de las filas del grupo, por la cual corria el wagon que conduce los sillares al embarcadero. Esta disposicion economiza el asiento de vía, reducida á una fila de las cuatro del grupo, pues por medio de la grua, todos

los sillares se pasan á ella. En Kurrachee, basta la vía central, por iguales motivos.

Cualquiera que sea la disposicion del taller, todas sus vías de servicio están enlazadas por medio de otra más honda que las demás, la cual conduce á los embarcaderos, á fin de poder llevar por ella los sillares para embarcarlos.

Tres clases de wagones se usaron en las obras de Argel: los primeros sencillos, se componen de una plataforma montada sobre dos juegos de ruedas, forr..da de chapa de hierro, con un reborde para retener los tablones ensebados sobre los cuales se apoyan los sillares, para que éstos resbalen fácilmente. Un argollon en cada frente y dos en cada costado, permiten verificar la traccion en los dos sentidos perpendiculares. Otros, con una plataforma igual á la de los anteriores, montada sobre un carro circular, para mover el sillar en todos sentidos. Y los terceros (fig. 173),



destinados á los sillares que se habian de trasportar con flotadores, difieren de los otros en dos fuertes traviesas A en las cabezas, con argollas B, para suspender el carreton con el sillar. En Marsella y en Puerto-

Said se usaron tambien carretones con placa giratoria para facilitar las operaciones de embarque.

Hé aquí las operaciones que describiremos por su órden: 1.ª Suspension del sillar. 2.ª Traslacion del taller á la vía general de trasporte. 3.ª Trasporte al embarcadero. 4.ª Embarque. 5.ª Asiento en la obra.

Para la suspension se usaron en Argel dos aparatos, aunque en el fondo idénticos. Consta uno de ellos de un cuadro ó bastidor *A*, montado sobre dos rodillos *B* (lám. 8.ª, figs. 17.ª, 18.ª y 19.ª), por medio de los cuales se trasporta el aparato de un punto á otro, arrastrándolo con cuerdas atadas á argollas fijas á las cabezas de los largueros del bastidor. Sobre los largueros, van ensamblados cuatro dobles montantes (lám. 8.ª, figs. 20.ª y 21.ª), fuertemente asegurados en sus cabezas con cuatro carreras. Cuatro husillos movidos por otras tantas ruedas con sus palancas, pasan entre los dobles montantes, con una traviesa ó barra horizontal *C* de hierro (lám. 8.ª, figura 20.ª), que entra en dos ranuras practicadas en aquellos, é impide girar al husillo. Las ranuras van forradas de chapa de hierro, y la extremidad inferior del husillo termina en un grillete con su perno para sujetar los extremos de la cadena de suspension. En la parte superior lleva una plataforma, rodeada de una balaustrada, para la colocacion de los obreros que han de maniobrar los usillos.

Cuando los sillares llevan dos ranuras, los husillos se colocan en los ángulos, y cada uno sostiene la extremidad de una cadena: cuando lleva tres (lám. 8.ª, figs. 17.ª, 18.ª y 19.ª), los husillos van sobre las cuatro caras del sillar, montados sobre traviesas *D* que ligan los montantes, que entonces son sencillos. Cada husillo de las cabezas reune los dos extremos de la misma cadena, y los del centro sostienen, cada uno, una extremidad de la del medio. En rigor, con este sistema, son escusados los dos husillos del centro, dejándolos, como en las obras de Biarritz, reducidos á dos. El mismo Poirel (lám. 12.ª, fig. 9.ª), hace esta reduccion en un sistema de flotadores que propone.

En vez del aparato que acabamos de describir, pareció más cómodo trasportar los cuatro husillos separados, y armarlos enfrente de cada sillar (lám. 8.ª, figs. 20.ª y 21.ª), en el lugar correspondiente. Presentados los husillos, se montaban encima las ruedas de palancas, encajándolas en las tuercas de forma poligonal exteriormente, y sujetas con pernos á las zapatas de los husillos.

Hé aquí la marcha seguida para suspender el sillar : la cadena se introducia en la ranura por medio de un liston de madera sirviendo de aguja, atado al extremo una cuerda delgada, y el otro cabo de ella, á la cadena de suspension. Las dos extremidades de ésta se colgaban de los husillos, y se suspendia el sillar moviendo las palancas. Cuando llegaba á la altura suficiente para correr debajo de él el carreton que lo habia de trasportar, se lo dejaba descender sobre este, preparado con los tablones ensebados.

Una modificacion se introdujo en el aparato, cuando el carreton que debia recibir el sillar correspondia al tipo de la fig. 173. Las piezas trasversales A, sobresalen del cuerpo del carreton y deja un hueco entre los husillos y las caras laterales del sillar, ocasionando oscilaciones perjudiciales á la buena marcha de la operacion. Esto se salva de la manera siguiente: se clavan (lám. 8.ª, fig. 21.ª), á los montantes, dos tacos E, que llenan el espacio vacío entre los montantes y el sillar, á una altura tal que deje paso por debajo á los brazos salientes A del carreton. Debajo de cada taco se introduce otro F amovible, que sostiene el sillar lateralmente y evita las oscilaciones durante la suspension. Cuando ésta ha terminado, se quitan los tacos amovibles C, se corre el carreton, y el sillar descansa sobre él.

En Marsella se modificó este procedimiento empleando en la suspension y el trasporte el mismo aparato, evitando el uso del carreton, y el elevar inútilmente el sillar hasta su altura. El motor aplicado, el vapor, resultaba ser más económico, por el gran número de sillares que fué necesario remover.

La grua (lám. 9.ª, figs. 1.ª, 2.ª, 3.ª y 4.ª), se compone de dos bastidores, formado cada uno con dos chapas de palastro, aligerados en su parte media, y unidos en la superior por una doble viga C, dejando en cada una la canal ó ranura para el paso del husillo. En el tercio anterior, una placa trasversal vertical coge todo el frente, y separa del sitio destinado al sillar el del aparato motor, compuesto de una máquina de vapor y de las trasmisiones de movimiento. Todo el armazon descansa sobre dos pares de ruedas; las del juego trasero van separadas é independientes, pero las del juego delantero están unidas por un eje, el cual lleva tambien montada la rueda motriz que sirve para avanzar ó retroceder sobre los carriles.

El aparato de suspension consta de las partes siguientes: sobre las vi-

gas que arriostran los tableros laterales, vá una plancha *D* de palastro, atravesada por los dos husillos, á la cual se fijan las tuercas de los mismos, terminadas exteriormente en una corona ó rueda dentada. De la extremidad inferior del husillo pende una cruz formada por dos chapas, sujetas al husillo por un perno, y cuyos extremos van atravesados por otros dos, de los cuales cuelgan las cadenas. Si á las tuercas de los husillos se comunica un movimiento horizontal, el sillar queda suspendido.

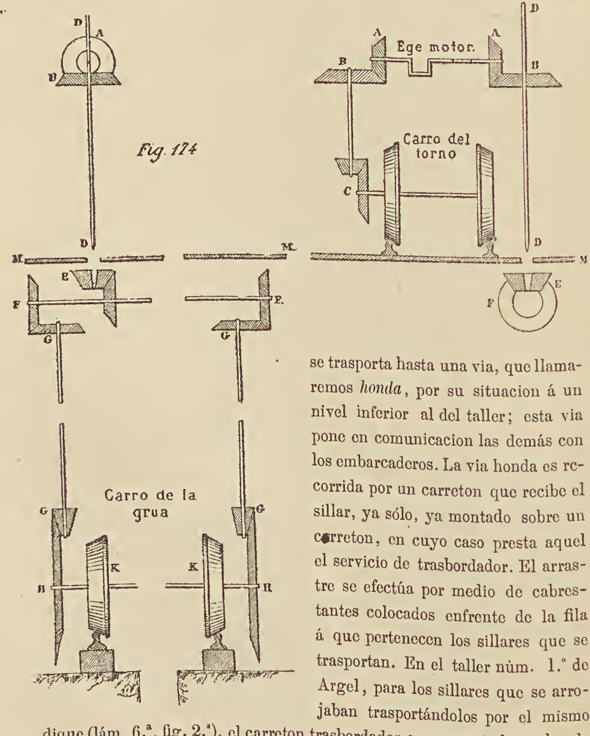
En Puerto-Said y en Kurrachee se trabajó con otro género de grua: son ambas de doble movimiento, de palastro la primera y de madera la segunda. La usada en Marsella realizaba teóricamente el problema mecánico de desarrollar el mínimo trabajo para la elevacion del sillar, pero era difícil trabajase en buenas condiciones, destinándola á dos objetos diferentes, á la suspension y al trasporte. Además, el sillar suspendido, tampoco se encuentra bien dispuesto para ser trasportado, y sus oscilaciones absorben una gran parte del trabajo economizado en la elevacion. La separacion que se hace en Puerto-Said de los dos trabajos, permite activar más la operacion del trasporte y del embarque.

La grua en Puerto-Said se compone (lám. 9.ª, figs. 5.ª, 6.ª y 7.ª) de dos bastidores de palastro, formados cada uno por dos placas verticales y montados sobre cuatro ruedas, rodando sobre carriles para trasladar la grua de un punto á otro. La distancia entre los dos bastidores es la que corresponde á cuatro filas de sillares, lo que permite colocar cuatro de estos sobre su truck, sin cambiar de sitio la grua. Encima de los bastidores se apoyan dos vigas tubulares, sobre las cuales descansa la plataforma, apoyada además en los refuerzos ó nervios y en las ménsulas ó escuadras. La plataforma lleva carriles para mover el torno de suspension, que consiste en una prensa hidráulica de cuyo émbolo pende la armadura de donde cuelgan las cadenas que sostienen el sillar. El agua para la prensa hidráulica la suministra una bomba rotatoria.

La grua debe tener tres movimientos (fig. 174): 1.° El de suspension, trasmitido directamente por el eje motor al émbolo de le prensa y de ésta á la armadura de suspension que pende de él. 2.° El de traslacion del torno sobre la grua; un eje vertical *BC* trasmite el movimiento del eje motor al que lleva montadas las ruedas. El 3.°, de traslacion de la grua; otro eje vertical *D*, desliza, cuando está colocado el torno en la extremidad de la grua, penetra en el ojo abierto en la plancha que forma el piso de la plataforma

de la grua, y entra en la rueda E formando cuerpo con ella; entonces la trasmision se hace con el eje vertical D al horizontal F y de éste por los verticales G al de las ruedas motoras.

Suspendido el sillar por cualquiera de los procedimientos explicados,



se trasporta hasta una via, que llamaremos *honda*, por su situacion á un nivel inferior al del taller; esta via pone en comunicacion las demás con los embarcaderos. La via honda es recorrida por un carreton que recibe el sillar, ya sólo, ya montado sobre un carreton, en cuyo caso presta aquel el servicio de trasbordador. El arrastre se efectúa por medio de cabrestantes colocados enfrente de la fila á que pertenecen los sillares que se trasportan. En el taller núm. 1.° de Argel, para los sillares que se arrojaban trasportándolos por el mismo dique (lám. 6.ª, fig. 2.ª), el carreton trasbordador que recorria la via honda llevaba el sillar á la via de inmersion, que terminaba en un trozo de via

móvil unido á una placa giratoria. El trozo de via giraba con la placa hasta colocar el sillar en la direccion conveniente para ser arrojado al mar.

El aparato de suspension en Biarritz era el mismo que en Argel; al construir el sillar se empotraban en la fábrica dos trozos de madera, á los cuales se rodeaba un lazo ó madeja de alambre que se enganchaba en los ganchos de los husillos, que eran sólo dos. En Cartagena se usó el mismo aparato que en Marsella, pero movido por obreros, en vez de la locomóvil.

Para el trasporte por mar (lám. 6.ª, fig. 1.ª), es necesario embarcar los sillares, y cuando hay, como en Argel, varios embarcaderos que servir, la via honda se establece paralela á la playa [239], y por lo tanto perpendiculares á esta las filas de sillares que en otros talleres le son paralelas. Los sillares montados sobre un carreton de la 3.ª clase (fig. 173), pasaban (lám. 6.ª, fig. 1.ª), atohados por un cabrestante situado enfrente de la fila á que pertenecia el sillar, al carreton trasbordador que recorria la via honda, y de allí al embarcadero respectivo. El cabrestante era manejado por hombres. En Puerto-Said se hizo uso de un cabrestante de vapor montado sobre un carreton, el cual recorria una via perpendicular á las filas de los sillares, hasta colocarse enfrente del que se queria atohar.

En Cartagena y en Biarritz se hizo tambien uso de un cabrestante para el atohado hasta la via honda; pero, lo mismo que en Marsella, no se colocaba el sillar sobre un carreton, contentándose con suspenderlo 0,15 metros del suelo, y luego arrastrarlo con la misma grua hasta el carreton de servicio de la via honda, para lo cual se prolongaba provisionalmente la via del taller, por medio de dos traviesas amovibles, colocadas delante y detrás del carreton. Cuando el sillar descansa sobre el wagon, se quita la traviesa delantera que estorba para la marcha, y despues que ha pasado el carreton con el sillar, se vuelve á colocar, hasta haber trasportado todos los sillares de una fila. El carreton es de báscula y vierte de costado; el sillar se coloca sobre él trasversalmente. Tambien se usaron estos wagones en la construccion del dique de San Nicolás en Bastia, en el cual, como en Argel, se aplicaron los dos procedimientos de conducir los sillares por tierra y embarcados.

El trasporte hasta la via de servicio se hacía en Marsella por medio de la grua ya descrita: suspendido el sillar, se soltaba el embrague del aparato elevatorio, estableciendo el enlace con el de locomocion, y traspor-

tando el sillar hasta la via honda, sobre la cual se prolongaba la via del taller correspondiente al sillar, con dos largueros amovibles que llevan cada uno un trozo de carril y que encajan en muescas practicadas en la coronacion de los muros que limitan la via honda.

Al llegar á este punto la grua, se deja descender el sillar sobre un carreton provisto de una placa giratoria, por medio de la cual se le da un giro de 90° para colocarlo en el sentido de la marcha; posicion más cómoda pero que tiene además otras ventajas. Aunque el sillar domina el terreno en el taller, y sólo podria haber tropiezo en el caso de estar abierta la caja de la via honda en desmonte superior á la altura del carreton, al llegar al embarcadero, que se ha reducido al mínimo de anchura, tropezaria el sillar con los postes que forman aquel, á menos de darle un ancho superior al extrictamente necesario. La ventaja del carreton ó truk con placa giratoria, que permite colocar el sillar, para el arrastre, en el sentido de su mayor dimension, es la de reducir el andamio al menor ancho posible.

Cuando se ha terminado el trasporte de todos los sillares de una fila, se hace pasar la grua móvil á la siguiente, con el auxilio de otra vía paralela á la honda, provista de su carro trasbordador.

Para llevar los sillares al embarcadero, se dispuso en Marsella (lám. 11.ª) una cadena sin fin, apoyada de trecho en trecho sobre roldanas, cuyas extremidades se amarran al carreton. La cadena pasa, en la parte superior, por una polea de eje horizontal, y en el otro extremo del plano inclinado, en el embarcadero, va á arrollarse á un doble torno con acanaladuras helizoidales, para acomodar en ellas la cadena. Este torno, puesto en movimiento por una loco-móvil, ya en uno ó en otro sentido, lleva al embarcadero el carreton cargado con un sillar, ó lo hace volver vacío al taller de fabricacion, en busca de otro.

En Puerto-Said se trasportaba el sillar en el mismo carreton colocado sobre un truk ó carro trasbordador (lám. 13.ª, figs. 8.ª, 9.ª, 10.ª, 11.ª y 12.ª); pero en vez de la máquina fija establecida sobre el embarcadero, se hacía uso de una locomotora especial. La locomotora llevaba los tornos que en Marsella eran movidos por la máquina fija, arrollándose á ellos una cadena cuyas extremidades se hacian firmes en las del plano inclinado de la via honda. El truk, cargado con el sillar, se enganchaba á la locomotora, y era arrastrado por ella al embarcadero. Tambien reemplazaba á veces la locomotora al cabrestante, en el trasporte de los sillares hasta la vía

honda; bastaba para ello fijar en tierra una polea que permitiese cambiar la direccion de la cadena de traccion.

Volvamos á los embarcaderos y á la manera de trasportar los sillares. Estos pueden conducirse en gabarras, ó suspendidos de flotadores que consisten en toneles, cajas y pontones de madera ó de chapa de hierro. El primer sistema, usado en Marsella, en Puerto-Said y en Cartagena, tiene las siguientes ventajas: 1.ª Poder trasportar en las gabarras más de un sillar; 2.ª Ser más fácil el remolque, mejor y con más rapidez. En cambio exige un material costoso y un volúmen mayor para que flote la gabarra con un peso dado de sillares. El sistema de flotadores usado en Argel, Cherburgo, Biarritz y en el Fuerte Boyardo, permite habilitarlos á poca costa; nunca faltan en un puerto toneles ó gabarras utilizables con este objeto, y como el sillar marcha sumergido, debe contarse solo con la diferencia entre su peso y el del agua que desaloja. En cambio su trasporte es más penoso y exige mayor fuerza de traccion, por la mayor resistencia que opone á la marcha. Otras veces, como en Cherburgo, en Brest y en Biarritz, se usan gabarras para flotadores; conviene hacer notar, que en estos puertos, por ser de mareas, se suspendian en la baja, y no habia entonces ventaja ni medios fáciles de subir los sillares sobre cubierta; al paso que en Marsella, los sillares construidos en tierra, están más altos que las gabarras y no hay dificultad en el embarque, empleando los medios que vamos á describir.

El embarcadero (lám. 11.ª) tiene dos pisos; el inferior de ellos en prolongacion de la vía honda; el superior, situado cerca de la extremidad de la vía, forma una escuadra con ella y va sostenido por piés derechos y tornapuntas, que dejan un espacio en donde se alojan las gabarras, dando proa al mar. Sobre estos piés derechos y tornapuntas descansan dos vigas armadas, compuestas de dos piezas acopladas, tirante y pendolon. El piso inferior se prolonga más allá del superior para colocar allí los tornos, la máquina de vapor y demás aparatos. En Cartagena y en Puerto-Said los embarcaderos eran de la misma especie.

Se intentó, en un principio, colocar el embarcadero en prolongacion de la vía, pero las gabarras, con esta disposicion, presentaban el costado á la mar, sufrian grandes averías chocando contra el embarcadero, haciéndose imposible el embarque durante una gran parte del año, y dicífil en el resto, por los embarazos que sufria la maniobra con los grandes balances que la marejada causaba á las gabarras. Con la disposicion adoptada posterior-

mente en el embarcadero (lám. 11.ª), el oleaje no coge los barcos atravesados, sino de proa ó popa, y el embarque se hacía con suma facilidad, aun en los peores dias.

Sobre el piso superior rueda un torno, del cual penden dos aparejos para suspender el sillar de las cadenas. El torno lleva tambien un freno para moderar la velocidad del sillar en su descenso al colocarlo sobre la gabarra.

El movimiento de traslacion del torno, que trasporta el sillar suspendido de él, hasta la extremidad del embarcadero, se comunica al carreton por una cadena sin fin, arrollada á dos rodillos cilindros en las extremidades del piso superior que forma la cruz del embarcadero. Hé aquí la marcha del sillar desde el taller hasta dejarlo embarcado en la gabarra. 1.° Colocado en la vía honda y en disposicion de ser atohado, la máquina de vapor pone en movimiento los tornos fijos situados en el piso inferior del embarcadero, y arrastra el carreton de placa giratoria, con el sillar, hasta colocarlo debajo del torno. 2.° Se da un cuarto de conversion á la placa giratoria del carreton, para colocar el sillar con su longitud en el sentido de la cruz que forma el piso superior del embarcadero. 3.° La máquina de vapor deja de mover el torno inferior, y puesto en comunicacion con el torno del piso superior, suspende el sillar. 4.° Se deja libre el torno superior, y actuando la máquina sobre los rodillos de la cadena sin fin que mueven el carreton sobre el cual va montado el torno, trasporta al sillar suspendido de él hasta dejarlo á plomo sobre la gabarra. 5.° Se hace descender sobre ella el sillar, y despues de suelto el aparejo, vuelve á recoger otro sillar el torno vacío, movido á brazo por los obreros destinados al servicio del torno. 6.° Durante el descenso del sillar y el regreso del torno, la máquina de vapor ha practicado el arrastre de un nuevo sillar, el cual se encuentra dispuesto para ser embarcado.

Vemos pues, que el eje motor de la máquina de vapor ha de enlazar: 1.° Con un eje horizontal y paralelo, en el mismo plano que trasmite el movimiento á los tornos inferiores. 2.° Con otro eje perpendicular y en distinto plano, correspondiente al rodillo y á la cadena que llevan el carreton á la extremidad del embarcadero; y 3.° con el eje del torno superior paralelo, pero en distinto plano horizontal y á gran distancia del eje motor, de modo que la trasmision directa no es cómoda. Cada una de estas trasmisiones lleva su manguito de embrague para interrumpir ó establecer

la comunicacion con el eje motor de la máquina. El movimiento entre el árbol de la máquina y el eje del rodillo que pone en movimiento al torno (lám. 11.ª, fig. 4.ª), se trasmite por un árbol vertical *BD* que corta á los dos ejes: en el encuentro inferior lleva un engranaje cónicò *B*, y en el superior un tornillo sin fin *C*, aunque tambien pudiera usarse otro engranaje de aquella especie. Otro árbol auxiliar *ED*, horizontal, y que corta al vertical y al del torno superior (dos engranajes cónicos), trasmite el movimiento de aquel al torno destinado á la suspension y trasporte de los sillares. Este eje lleva en su extremidad un enchufe en el cual penetra el eje del torno, sujetando las dos piezas por una clavija. Cuando el sillar queda suspendido de los aparejos, se suelta la clavija y está en disposicion de ser trasportado á la gabarra. Cada una de estas lleva tres sillares, colocados sobre plataformas preparadas sobre la cubierta.

El embarcadero de Puerto-Said es idéntico al descrito: el torno de suspension es análogo al de la grua destinada al servicio de los talleres [239] (lám. 9.ª, figs. 5.ª, 6.ª y 7.ª); es decir, una prensa hidráulica movida por una locomóvil; los movimientos son los descritos para ella.

Tambien Poirel propuso gabarras de esta especie para el trasporte de los sillares (lám. 10.ª, figs. 9.ª y 10.ª). Se coloca una vía en el sentido de proa á popa en una barca de 20 metros de eslora, 6,50 de manga y 2,50 de puntal, y se la dá una pequeña inclinacion para facilitar el embarque de los sillares. La barca se amarra fuertemente á un embarcadero ó grada, contra el cual se apoya la gabarra, y que lleva tambien una vía, prolongacion de aquella. Estas vías se prolongan más hácia tierra pero en un plano inferior, de manera que el carreton que trae el sillar, llegue con éste á la altura de los carriles de la grada.

Los sillares van montados sobre rastras, provistas en su parte inferior de rebordes que entran en las carriles ó ranuras que lleva el carreton, sobre los cuales resbala el sillar para entrar en la grada, de donde pasa á la gabarra. La union de las dos vías se hace por medio de un arco de círculo, en cuyo centro lleva un agujero la grada, correspondiendo con un pivote en la barca, en el cual encaja. De este modo, el sistema obedece á todos los movimientos y oscilaciones del ponton.

Un torno colocado en el interior de la barca, sirve para arrastrar los sillares colocándolos unos al lado de otros, y tambien para lanzarlos al mar. En la travesía se sujetan por medio de una pieza de madera atravesa-

da en la proa, que se quita en el momento oportuno. Veremos luego una disposicion análoga aplicada á la inmersion de los sillares en Marsella y Puerto-Said.

Las barcas de Poirel se han copiado en las obras del dique de San Nicolás en el puerto de Bastia (lám. 10.ª, figs. 6.ª y 7.ª): en ellas vemos: 1.° La vía general enlazada con el embarcadero por un carreton trasbordador en una vía honda. 2.° Un embarcadero, ó tablero oscilante, que se levanta por medio de otro superior con su contrapeso. 3.° La gabarra que se acerca al embarcadero, cuyo tablero se baja y se sujeta á ella por ganchos que entran en muescas preparadas en la popa. 4.° La vía en prolongacion con la del embarcadero, y un torno ó cabrestante en la proa para verificar el arrastre de los sillares. Ordinariamente conduce tres, montados sobre sus carretones, aunque tiene capacidad para cuatro.

241.—Flotadores.—Antes de ocuparnos de los flotadores de diversos géneros y dimensiones, describiremos las maniobras preliminares al embarque, practicadas en las gradas de Brest. Construidos los sillares sobre las plataformas [239], se arrastraban éstas (lám. 13.ª, figs. 1.ª y 2.ª), con el sillar á la extremidad de la grada antes descrita [239], de manera que quedasen sumergidos. Dos cadenas sin fin, una por cada lado de la grada, se arrollan á un torno movido por una máquina de vapor, colocado en lo más alto del plano inclinado. Las cadenas se sujetan á los costados de la plataforma por medio de un herraje que permite darle la tension necesaria, igual en las dos cadenas. Se compone (lám. 13.ª, fig. 5.ª) de una pieza de hierro *A*, que puede avanzar ó retroceder por medio de los tornillos *B* que la atraviesan. Estos tornillos se apoyan en un boton *C* fijo al bastidor y que sujeta la pieza móvil *A*, permitiéndola resbalar á lo largo del costado de la plataforma cuando se dá vuelta á los tornillos. La pieza *A* termina por su parte inferior en un apéndice *D*, que se pasa por uno de los eslabones de la cadena, atravesando por debajo, para sujetarla, un perno de quita y pon. Despues se templan las cadenas, haciendo avanzar la pieza de hierro por medio de los tornillos.

A veces, una de las dos cadenas, suele desarrollarse demasiado, formando un seno, y para no desmontar el torno, se hace uso de un tirante *A* (lám. 13.ª, fig. 4.ª), que uniéndose por sus extremidades á dos eslabones, recoge el sobrante: un templador *B*, en el centro, permite tender ó aflojar la cadena, segun convenga.

Tambien en Biarritz se usó un embarcadero fijo, formado por un plano inclinado (lám. 10.ª, fig. 8.ª) con una pendiente de 15 por 100, que penetra en el mar hasta la profundidad suficiente para que floten los sillares suspendidos de los flotadores.

Los embarcaderos de que se hizo uso en Argel para la inmersion por mar eran flotantes (lám. 12.ª, figs. 4.ª y 5.ª). Los sillares se trasportaban con su carreton, suspendiéndolo del flotador por las anillas *B* (fig. 173). El carreton, segun hemos visto, se conducia con el sillar á la vía honda, ó sea á la general de servicio del embarcadero, al cual pasaba por el carreton trasbordador. El embarcadero lo componia un tablero flotante, giratorio alrededor de un eje, al cual se le sujeta con cadenas. La parte resistente de esta plataforma ó piso, son dos vigas armadas, compuestas cada una de dos piezas superpuestas, unidas por medio de abrazaderas y pernos: las dos vigas están ligadas por traviesas distantes un metro, y reforzadas por dos arcos de hierro. El tablero sostiene una vía del mismo ancho que las del taller, para que el carreton pueda marchar por ella. Cuando no carga peso sobre el piso, la plataforma flota, pero si el sillar se coloca encima, se sumerge, apoyándose en dos macizos de hormigon que descansan sobre el fondo del mar. A la parte fija de vía que media entre el embarcadero y la general de servicio de los embarcaderos (vía honda), se le da una ligera pendiente, á fin de que el carreton que lleva el sillar descienda por su propio peso.

Cuando el sillar ha pasado de la vía del taller á la vía general de servicio, se le conduce por esta, hasta frente del embarcadero. Allí se le sujeta (lám. 10.ª, figs. 6.ª y 7.ª) por medio de una, ó más bien de dos fuertes reatas, que consisten en lo siguiente. Dos morrones, contra los cuales se apoya una traviesa, ligándola con cuerdas: un cable de cada lado, hecho firme en los morrones, pasa por una polea, y dá dos ó tres vueltas á la pieza trasversal. Detras de ella, un torno de doble garganta en la cual se alojan los dos cables, está movido por un engranaje, y las cuerdas, despues de dar otras dos ó tres vueltas, pasan por dos arganeos empotrados en el taller. Las extremidades de las cuerdas las manejan dos obreros que largan cable á medida que es necesario. Cuando el sillar sale del carreton trasbordador, se rodea con una cuerda que se engancha en los aparejos, y el carreton baja por el embarcadero hasta sumergirse lo suficiente para ser cogido por el flotador.

El flotador (lám. 12.ª, figs. 4.ª y 5.ª), consta de dos fuertes toneles cilíndricos; el armazon interior lo componen seis bastidores, á los que se sujetan las duelas con doce aros de hierro. Los toneles están ligados por dos fuertes vigas y cuatro montantes, que los mantienen á la distancia conveniente. Dos gruesos cables ó cadenas, fijas á los montantes y á las vigas que forman los yugos, rodean á cada tonel: las vigas van unidas por traviesas, y encima de todo un piso para la maniobra.

Del yugo anterior penden dos cadenas, una de cada lado, para suspender el juego delantero del carreton que lleva el sillar. Las cadenas se doblan sobre las traviesas del yugo, alojándose en dos muescas forradas de chapa de hierro, y los dos ramales se reunen en uno, enganchado en un tornillo horizontal que pasa por una tuerca fija al yugo posterior; de manera, que alargando la cadena más ó ménos por medio del tornillo, se inclina tambien más ó ménos el sillar. Del yugo de atrás penden otras cadenas que sirven para suspender, por el juego trasero, el carreton que trasporta el sillar. Lleva además, fijos á los dos postes delanteros, dos ramales de cadena, que se unen delante del sillar, por medio de un grillete con su escape *A*.

La operacion de embarque se comprende fácilmente con lo dicho: colocado el sillar en el embarcadero, se acerca el flotador, dejando á cada lado uno de los dos toneles: se enganchan los cuatro ramales en las anillas que lleva el carreton, y como éste resbalaria con la gran inclinacion del embarcadero, se atan por delante, con el grillete, los dos ramales. Sujeto el sillar, se aflojan poco á poco las reatas del torno fijo en tierra, hasta que el sillar se encuentra separado del embarcadero; entonces se largan las amarras y el sillar se conduce al punto en que debe sumergirse, en donde se suelta el escape y el sillar resbala por los tablones ensebados sobre que se apoya.

Igual procedimiento se empleó en Biarritz para el embarque de los sillares: en este puerto, el embarcadero es fijo y forma un plano inclinado de 15 por 100 (lám. 10.ª, fig. 8.ª): cuando el sillar queda sujeto al flotador, el carreton se retira atohándolo por medio de las cuerdas que sirvieron para el descenso.

En el Fuerte Boyardo y posteriormente en las obras de Argel, se usaron flotadores parecidos (lám. 12.ª, figs. 6.ª y 7.ª), pero en los cuales los ramales de suspension del sillar se arrollaban á cuatro tornos, lo cual permitia descender poco á poco el sillar, sentándolo por su cara, en vez de ar-

rojarlo para servir de escollera. En el flotador usado en el Fuerte Boyardo, se clavaron lateralmente cuñas A, para sujetar el sillar con otras B en sentido inverso, y pendientes de una cuerda atada á la plataforma del flotador: con estas cuñas se evitan las oscilaciones del sillar en el trayecto.

Poirel habia propuesto, con igual objeto, dos husillos en vez de los tornos (lám. 12.ª, fig. 9.ª y 10.ª). El sillar va suspendido de dos cadenas, cuyo extremo inferior se une á un eslabon de la misma cadena por un grillete con su escape. El otro ramal va fijo al ponton por medio de un perno ó clavija que atraviesa uno de sus eslabones, no haciéndose uso de los husillos hasta el momento de la inmersion. El escape del grillete se sujeta á un torno por una cuerda.

En otros flotadores, como en Cherburgo y en Biarritz (lám. 12.ª, figuras 11.ª, 12.ª y 13.ª), los toneles ó cajones son sustituidos por barcas. En Cherburgo van unidas trasversalmente por vigas sujetas con cuerdas, cadenas y pernos. Dos de las vigas son dobles, y sirven para la suspension del sillar, para lo cual lleva cada viga cuatro piezas de hierro pareadas dos á dos, cada una con dos ganchos, de donde se cuelgan los ramales de suspension; de manera, que el sillar viene á quedar suspendido por diez y seis de ellos, cuatro de cada lado reunidos en un anillo. Las cadenas se pasan, en la baja mar, por las ranuras ó aberturas que lleva el sillar en el fondo ó en el interior, cuyos cabos se dejan atados con una cuerda, con su boya ó flotador, hasta el momento de la suspension. Cuando la marea daba suficiente calado para permitir al flotador acercarse sin tropezar en el sillar, se colocaba aquel cogiendo al sillar entre las dos barcas. Los anillos que en los aparejos de un flotador corresponden á un costado del sillar, se enganchan en los grilletes que lleva cada uno de los cabos de las cadenas de suspension (lám. 12.ª, fig. 14.ª). El otro cabo se une al anillo de los otros ramales por un escape, formado por una tenaza, parecida á la de los martinetes para clavar pilotes. La cuerda A sujeta la tenaza y sostiene el sillar por el intermedio de la cadena, pero cuando se afloja ésta y se tira de la B, la palanca abre la tenaza y el sillar se desprende al soltarse la cadena. Para evitar que los choques, al tropezar la palanca, abran el escape, sirve de para-choques un estribo C de hierro.

El escape usado en Biarritz es más sencillo y seguro que el de Cherburgo. El antiguo (lám. 12.ª, fig. 15.ª) era un grillete ó gancho articulado

sujeto por una palanca, apoyada contra un perno que la atraviesa: moviendo la palanca, deja el gancho libre y el sillar cae. Como precaucion, en el caso de soltarse la palanca antes de tiempo, lleva una clavija *A*; de manera, que para soltar el gancho, antes de mover la palanca, es necesario quitarla.

Posteriormente, se sustituyó este escape con otro, no tan sencillo, pero más seguro (lám. 12.ª, fig. 16.ª). Consiste en una armadura *M*, compuesta de dos chapas de hierro, atravesadas por un perno *A* que pasa por el anillo del aparejo de suspension, pendiente del flotador. En la parte inferior, la pieza *E* entra en el anillo ó lazo [240] del sillar ó de las cadenas de suspension, y se apoya en la palanca angular *C*, sujeta por la *B*, cuyo brazo se asegura con un aparejo. Como medida de precaucion, se pasa durante el trayecto, la clavija *D*, y la pieza *C* no puede moverse sin quitarla. Para facilitar el enganche en cualquier estado de agitacion del mar, se quitan los pernos *A* y *B*, se sujeta al sillar el escape *M*, pasando por el anillo la pieza *E* y sujetándola con la clavija *D*. Cuando llega el flotador basta pasar el perno *A*, y durante el trayecto, el *B* que sujeta la palanca.

Poirel propuso utilizar la marea para suspender los sillares, construyéndolos en la playa: despues de construidos se sujeta al costado un flotador, y al subir la marea queda el sillar flotando. Tambien propuso construirlos sobre rastras en una grada fija ó flotante; y colocando el flotador encima al botarlo al agua. Para colocar el flotador sobre el sillar, se puede usar un plano inclinado (lám. 12.ª, figs. 1.ª, 2.ª y 3.ª) formado por dos piezas de madera, ayudándose con un fuerte aparejo sujeto á otro sillar.

El trasporte, en todos estos casos, se verifica en trenes, variando el número de sillares segun la fuerza del remolcador.

242. Inmersion.—Describiremos ahora los diversos procedimientos aplicados para la inmersion. Cuando los sillares se conducian por el mismo dique, como en Argel, se retenía el carreton por un aparejo [240] al llegar á la placa giratoria, dejando resbalar el sillar por las tablas ensebadas, sobre las cuales descansaba.

Para aquellos que no se destinaban á la prolongacion del dique sino á su ensanche y defensa, se lanzaban de costado, estableciendo gradas en la parte construida del dique y en el sentido trasversal. Las gradas están formadas por dos maderos, se las dá $1/6$ de inclinacion, y encima se clava un tablero bien ensebado. Los moldes se arman sobre el table-

ro de la grada, y en su fondo se tiende una hilada de tablas, tambien ensebadas, que resbalan sobre la grada, arrastrando al sillar. La caja se apuntala por el lado del mar, y cuando el sillar ha tomado consistencia, se quitan los tableros, ménos la tabla contra la cual se apoyan los puntales, que no está clavada á las demás del tablero, dándola mayor grueso para que se incruste en el hormigon. Llegado el momento de botar el sillar al agua, se quitan los puntales y el sillar desciende por su peso. De esta manera se han arrojado sillares de 20 á 60 metros cúbicos.

Cuando los sillares se trasportan en gabarras, como en Marsella, Puerto-Said ó Bastia, se pueden seguir varios procedimientos. Uno de ellos consiste en colocar los sillares apoyados por sus extremidades sobre dos largueros formando una especie de plano inclinado. El larguero exterior va fijo, pero el interior puede elevarse, en el momento de la inmersion, por medio de gatos ó husillos, hasta que tome la inclinacion correspondiente al ángulo de resbalamiento. Este procedimiento se ha modificado con ventaja: se dá al plano inclinado (lám. 14.ª, fig. 4.ª) la pendiente necesaria para que los sillares puedan resbalar, y se colocan sobre él, sostenidos durante el trayecto por palancas *A* fijas á un árbol horizontal *B*, moviéndose todas á la vez por medio de la gran palanca *C*, que se suelta en el momento de la inmersion.

Un procedimiento análogo se empleó en Bastia (dique San Nicolás): los sillares iban montados sobre carretones [240] que corrian sobre una vía de carriles, sujetos con cuñas y por la cadena arrollada al torno que sirvió en el embarque. Sueltas las cuñas y floja la cadena, el wagon corre sobre los carriles, choca contra una traviesa colocada en la popa, y el sillar, por la velocidad adquirida, salta al agua. El wagon vacío se suspende de una cábria montada en la misma barca y se pasa á la vía-apartadero, al lado de la anterior.

Estos medios no son aplicables cuando los sillares se han de sentar con algun concierto, ó á un nivel superior al de las aguas. En Marsella, Puerto-Said y Cartagena, se ha hecho uso de una cábria (lám. 14.ª figs. 1.ª, 2.ª y 3.ª) montada sobre una gran gabarra de 27 metros de eslora. Los sillares se colocaban en las gabarras, como en el caso anterior, sobre dos largueros, pero formando estos un plano horizontal. La cábria se compone, en la proa, de dos brazos inclinados, que vuelan sobre la gabarra, unidos sus extremos superiores, y ensamblados los inferiores en una solera. Los brazos están sos-

tenidos por vientos que van desde el extremo de la cábria á la popa de la gabarra. Dos jabalcones, liados con reatas á los brazos de la cábria, se apoyan y resbalan en dos ranuras que permiten un pequeño juego longitudinal de 0,50 metros. El servicio que prestan los jabalcones dándoles este juego, es, además de reforzar el sistema, atenuar las sacudidas de los tirantes al desprenderse el sillar. Sobre la popa del ponton se instala un torno de vapor, con la cadena, de la cual pende el aparejo de suspension del sillar.

La pontona con la cábria, se fija en un punto (lám. 14.ª, fig. 5.ª) y se sujeta, con dos amarras, á la escollera y á boyas ó anclas distantes 30 metros entre sí y 50 de la coronacion del dique. Estos cables se arrollan á tornos que sirven, como se practica en las dragas, para maniobrar el ponton. La gabarra que lleva los sillares, se coloca entre el ponton y el dique; la cábria suspende uno de los sillares, y la gabarra se retira: entonces, por medio de los tornos, se cobran los cabos que acercan la cábria al dique, y se deja el sillar en el punto conveniente. El ponton con la cábria se retira; penetra segunda vez la gabarra, coge la cábria otro sillar, y así continúa hasta sentar todos los de una gabarra. Se practica igual operacion con las demás que se descargan en la misma forma.

La inmersion, en el caso de ser trasportados los sillares por flotadores, es muy sencilla; pues basta, en llegando al sitio de la inmersion, soltar el escape y dejar caer el sillar. Cuando estos se quieren sentar con concierto, como en el Fuerte Boyardo, se bajan las cadenas por igual, por medio de los tornos, hasta tocar el sillar en el fondo. En el sistema de suspension con husillos (lám. 12.ª, fig. 9.ª), propuesto por Poirel, hemos dicho [242] que las cadenas iban sujetas á la plataforma del ponton por una clavija que atraviesa uno de los eslabones de las cadenas. Llegado el momento de la inmersion, se enganchan de los husillos (que se han elevado todo lo posible), los ramales fijos al suelo del ponton, y por medio de aquellos se baja el sillar cuanto permite la rosca del husillo. En este punto, se sujeta con la clavija la cadena al ponton, se desenganchan los husillos, se suben de nuevo, se enganchan, y baja el sillar otra altura igual á la longitud del husillo; y así se continúa largando cadena hasta tocar con el sillar en el suelo. Entonces se tira de la cuerda del escape del grillete, y se suelta la cadena. Veremos en otro capítulo aplicado este procedimiento á la extraccion de buques sumergidos.

243. Aparatos modernos para el manejo de los grandes sillares.—El aumento del volúmen y peso de los sillares, trajo consigo la necesidad del empleo de otros aparatos, más poderosos que los descritos; en rigor, su descripcion deberia corresponder al capítulo de los sistemas concertados, porque estos sillares nunca se usaron, ni se usarán como escollera, siendo verdaderos macizos de fábrica que se construyen en tierra, para sentarlos luego en obra; pero como tienen siempre grande analogía, y muchas veces identidad, con los sillares artificiales, vamos á terminar en este capítulo cuanto á ellos se refiere.

Un tipo intermedio, que sirve de tránsito entre el grupo anterior y el que nos va á ocupar, lo forman los sillares de mampostería de 45 metros cúbicos, usados en Brest [239]. Llevado el sillar, segun explicamos [241], al pié de la grada, se suspende, utilizando como flotador, una de las gabarras descritas [234] (lám. 5.ª, figs. 5.ª, 6.ª y 9.ª). Sobre dos de los pozos ó cántaras de la gabarra, que corresponden á las extremidades del sillar, se colocan cuatro traviesas, de 0,40 por 0,20 metros de escuadría, pareadas dos á dos, dejando entre cada dos un hueco de 0,40 metros para el paso de las cadenas que cuelgan de cuatro husillos, y sirven para suspender el sillar en la forma que explicamos antes [243]. Cuando la marea lo permite, se coloca la gabarra encima del sillar y se hacen bajar las cadenas, de cuyas extremidades penden las tenazas que sirven para suspenderlo. Estas tenazas (lámina 13.ª, fig. 6.ª), consisten en una cruz de hierro, que se introduce en la ranura en el sentido de la longitud, y dando un movimiento de 90°, queda la cruz alojada en un hueco ó ensanche de la ranura [240] en la parte inferior del sillar. La suspension del sillar es entonces posible, y para que la tenaza no se mueva y suelte el sillar, se corre una barra que forma con la cruz un ángulo recto y que ocupa en la ranura la parte más ancha. Cuando el sillar toca con el fondo y se quiere soltarlo, basta sacar la barra trasversal y dar á la tenaza un movimiento de conversion. Si el sillar no quedase bien sentado y fuese necesario removerlo, basta introducir de nuevo las tenazas, darlas el movimiento de giro y suspender el sillar. Todo el sistema, segun se ve, está fundado en el pequeño hueco ó ensanche que se deja debajo del sillar á la extremidad de la ranura, que permite alojar en él el gancho de la tenaza.

Otras tenazas se usan tambien cuando las ranuras son laterales ó no lleva ranuras el sillar (lám. 13.ª, fig. 7.ª), pero necesitan siempre el hueco

que antes mencionamos. Las figuras indican las diversas formas de las tenazas: el punto de suspension colocado en la parte anterior de la tenaza, tiende á introducir el gancho debajo del sillar en el hueco preparado para recibirlo. Se hace correr la tenaza á lo largo del paramento del sillar, y para que no se ladee, lleva, como las anteriores, una traviesa que se apoya contra el paramento. Cuando al bajar la tenaza, el gancho encuentra el hueco, penetra en él y queda el sillar sujeto.

Iguales tenazas veremos usadas en la construccion del muelle de Dublin. En Kurrachee y Kustendjie, la forma especial de los sillares y del asiento en lechos inclinados, exigia que las barras de suspension los atravesasen oblícuamente, para lo cual se colocaban préviamente en el molde en la posicion que luego debian ocupar. La parte superior terminaba en un ojo ó anillo, y la inferior en una rosca con su tuerca. La parte de rosca que quedaba fuera de la tuerca, se rodeaba con filástica, para que el mortero del hormigon no adhiriese á ella. De tiempo en tiempo se removia la barra hasta la consolidacion del hormigon, dejando moldeados dentro de él los huecos correspondientes á las barras: las tuercas quedaban empotradas dentro, y cuando se queria sacar las barras despues de asentado el sillar, bastaba dar á la barra para desatornillarla, un movimiento de giro en sentido inverso á las hélices de la rosca. Cuando se deseaba enganchar el sillar para suspenderlo de nuevo y rectificar el asiento, se atornillaban las barras.

Los sillares del muelle de Nueva-York eran de hormigon, y cubicaban 40 metros cúbicos, ó próximamente lo que los de Brest. Se asentaban á la profundidad de 6 metros con una grua ó Derrick (1) muy usada en los Estados-Unidos.

Todavía dejan atrás á estos aparatos los usados en la construccion de un muelle en Dublin, en 7,32 metros de agua. Los sillares tienen trasversalmente la forma de un trapecio de 8,24 metros de altura, 5,50 y 3,90 las dos bases y 3,66 de largo, con la inclinacion de 1/12 en el paramento exterior, cubicando 152 metros (140 de material) con un peso de 350 tone-

---

(1) Se llama Derrick una grua que dá á la carga tres movimientos; de elevacion, de rotacion y de traslacion. No damos el dibujo ni la descripcion de la de Nueva-York por ser muy conocida de los ingenieros y haberse reproducido en numerosas publicaciones que andan en manos de todos, entre las cuales figuran los *Anales de puentes y calzadas,* y la *Coleccion de máquinas* de Opperman.

ladas. En los costados laterales de los sillares se dejan ranuras de 0,92 metros de ancho por 0,46 de profundidad, que unidas las de dos contiguos, forman un tubo de 0,92 metros en cuadro, el cual se rellena con hormigon, y así queda enlazado todo el frente del muelle.

Los sillares se construyeron sobre un muelle de madera de 141 metros de largo, formado con pilotes ligados, en el sentido del frente del muro, por dos carreras ó cepos horizontales, sujetos con tablestacas por delante, y detrás, con dos filas de tirantes á otra fila de tablestacas distante 6,71 metros. El intervalo se rellenó con grava y arcilla procedente del dragado de la ria. Un entarimado de tablones, sujeto á durmientes empotrados en el relleno, forma el piso de la plataforma, sobre la cual se construyeron los sillares.

El paramento es de sillería; el resto del muro de mampostería irregular, sin lechos, asentadas las piedras de canto ó de punta, y rellenos los huecos con hormigon, formando un todo tan compacto, que es más fácil romper la masa por las piedras que por las juntas. Para regularizar la fábrica en los costados y en la parte posterior, se colocan tablas que se quitan cuando el sillar está fabricado. Se les dá en planta un esviaje de 1/20 para que los paramentos puedan ajustar exactamente en la longitud de 0,60 metros que se deja normal al paramento.

Dos traviesas de fundicion de 1/2 tonelada de peso, van empotradas en el sillar, para lo cual basta tenderlas sobre la plataforma al construirlo, y encerrarlas dentro de la fábrica. Las traviesas tienen por objeto suspender el sillar por medio de tenazas idénticas á las descritas al tratar del dique de Brest. Las barras de suspension tienen 0,13 metros de diámetro y pasan por cuatro tubos rectangulares de 0,56 por 0,28 metros de seccion, los cuales corresponden con cuatro agujeros de igual forma, abiertos en las vigas. La maniobra de suspender el sillar y sentarlo, es la ya descrita en el citado dique [243].

La parte más importante de la operacion está encomendada á una grúa, mejor entendida que la de Nueva-York y de mayor poder. Es un cajon de palastro, de seccion rectangular (lám. 17.ª, figs. 1.ª, 2.ª, 3.ª, 4.ª, 5.ª y 6.ª), de 39,65 metros de eslora, 14,64 de manga y 4,27 de puntal. El rectángulo termina en planta por un semicírculo en la proa. El fondo se eleva en la proa 0,61 metros para poder, en la baja mar, acercar la grúa al taller de los sillares.

La popa está ocupada por un depósito de agua, en una extension de 9,15 metros, de 220 metros cúbicos de cabida, cuya cubierta se eleva sobre la del resto del buque 0,92 metros. El ponton está reforzado por dos mamparos trasversales de plancha de hierro, distantes 7,62 metros de cada estremo, sin contar el depósito. Dos vigas dobles de celosía de 0,92 metros de ancho y distantes 5,50 metros, corren de proa á popa, dividiendo el ponton en tres partes, y repartiendo en toda la longitud del buque el enorme peso que sostiene, convirtiéndolo, por medio de ellas y de las trasversales, en una fuerte viga de colosales dimensiones. El lastre se divide en dos partes, una fija, de hormigon, y otra variable, de agua contenida en el depósito de que antes hablamos.

La grua se compone de dos pares de montantes, inclinados en sentido inverso hácia la proa y popa de la grua, reforzados por tornapuntas que van desde el tope de la una al pié de la otra, y ligados además en el punto de cruzamiento. Los de la parte anterior sostienen el sillar, y el depósito del agua los de la posterior. Los montantes de la grua son tubos de seccion rectangular, de 0,915 metros por 0,915 en el pié, y 0,915 por 0,610 en el tope: la reduccion de ancho se acumula al lado exterior, para conservar paralelas las caras interiores. Todo el sistema está enlazado por tirantes, segun se detalla en las figuras. Las tornapuntas de la grua tienen forma de doble *T*: las mismas formas de seccion, aunque menores se dieron respectivamente á los montantes y tornapuntas que sostienen el depósito.

Una doble viga trasversal de celosía, montada á 16,32 metros de altura encima de las cabezas de los montantes de la grua, vuela 4,50 metros fuera de la gabarra: sobre ella descansa la armadura de hierro que sostiene la fila superior de cuadernales. Las cadenas están formadas con eslabones planos de 0,30 metros de longitud, de uno ó dos ramales alternativamente, y pesan 70 kilógramos por metro lineal. La longitud total de las cadenas es de 197 metros cada una, distribuida en ocho ramales correspondientes á las cuatro roldanas de cada cuadernal. Las roldanas tienen 1,22 metros de diámetro, y las de la parte inferior llevan otra armadura de la cual cuelgan las tenazas para la suspension del sillar.

Las cadenas se arrollan al tambor de un torno *A* (lám. 17.ª, fig. 6.ª), colocado en el puente, provisto de dientes para enganchar los eslabones, movido por una máquina de vapor de 14 caballos nominales de fuerza. Del tambor *A* pasan por las poleas *B* de cambio de direccion, á arrollarse á

las *C*, fijas en las extremidades del compartimiento de la máquina de vapor, en las cuales se envuelve el sobrante de las cadenas, dando varias vueltas alrededor de las poleas. A la extremidad de las cadenas de la grua se empalma otra que se arrolla al tambor de un torno *D*, movido por una máquina auxiliar de vapor, para verificar la traccion, recoger el sobrante de la cadena é impedir que se amontone y enrede. Los aparatos están dispuestos de manera, que por la curvatura de la cadena y la mayor ó menor inclinacion que toma, la máquina activa ó reduce su trabajo, recogiendo cadena en la proporcion que baja. La máquina de vapor principal, que mueve el torno, mueve tambien una bomba centrífuga para llenar ó vaciar el depósito de agua y los tornos á los cuales van sujetos los cables para maniobrar la gabarra.

En la remocion de masas tan enormes, son precisas grandes precauciones para el buen éxito de la operacion; y por eso describiremos con todo detalle la manera de practicar el asiento. La carga se hace generalmente en la subida de la marea; las barras de suspension qué préviamente se han asegurado en el sillar, se suspenden de la armadura de los cuadernales de la parte inferior. El torno y las bombas principian á trabajar, pero como el depósito se llena lentamente, la gabarra se inclina hácia adelante, y cuando llega á esta posicion, se interrumpe la traccion, continuando llenándose el depósito hasta que la gabarra se coloca horizontal, levantando á la vez el sillar casi insensiblemente, y dejándolo suspendido. En esta posicion, se le sujeta lateralmente con dos piezas de madera que cuelgan cerca del pié de los montantes de la grua, con su tirante y templador cada una, para asegurar el sillar é impedir sus movimientos laterales. Además, para equilibrar la diferencia de carga sobre una ú otra cadena, por la falta de horizontalidad del sillar, hay á proa dos pequeños depósitos de agua, con los cuales se puede restablecer la igualdad de tensiones, sin perjuicio de la resistencia que opongan los maderos.

Cuando se ha suspendido el sillar, la gabarra se separa del taller, é inmediatamente se baja aquel para sumergirlo hasta la mitad de su altura y aliviar la grua de una parte del peso. Cuando el sitio de la obra está próximo, se trasporta así, pero si dista más de 700 á 800 metros, es remolcado por un vapor. Para colocarlo en línea, con los sillares ya asentados, se alojan en las ranuras laterales que lleva, cuatro postes, de 0,28 metros de escuadría, dos en el sillar últimamente sentado y otros dos en el que se vá á sen-

tar. En estos montantes, bien acuñados, se ensamblan dos tarugos horizontales, sujetándolos por medio de barras y tornillos. Puestos en fila los cuatro de los dos sillares, se ponen estos en contacto por medio de un pequeño aparejo, sujeto por un cabo á una de las barras de suspension, y por el otro á uno de los sillares ya sentados. Se baja el sillar hasta 0,08 metros del suelo, y se le hace sentar definitivamente, sacando agua del ponton, inversamente á lo que se practicó para suspenderlo. Como en Brest, [243] la operacion se puede repetir, si el asiento no fuese tan perfecto cual se desea. El coste de la grua subió, con todos los accesorios á 1.800.000 reales próximamente. La obra avanzaba rápidamente, limitando su progreso el arreglo del cimiento.

Algunos años antes de la construccion de este muelle, el mismo ingeniero habia aplicado un procedimiento parecido á la construccion y trasporte, á más de tres kilómetros, de una basa anular de hormigon, de 80 toneladas de peso, para cimiento de una valiza. El diámetro exterior en la base era de 5,80 metros, el interior de 2,74 y la altura de 1,88, con un talud exterior de 1/12. Se construyó en la playa debajo de la plea. Tambien se empotraron, como en el caso anterior, cuatro traviesas de fundicion, dejando tubos verticales sobre ellas: dos pontonas ligadas por vigas y distantes seis metros, cogian entre las dos el cilindro, como en Cherburgo y Biarritz [242]: las demás operaciones como en estos puertos.

Hemos descrito estas dos obras, más para hacer ver hasta donde puede llegar el arte de la construccion, que como de aplicacion general á la construccion de diques. Aparatos tan costosos, solo están justificados por la magnitud de las obras, y pueden ser útiles en aquellos paises en que, como en Inglaterra, las obras de un puerto están representadas por cientos de millones. Pero sin alcanzar tal importancia, el sistema puede imitarse: en la prolongacion del dique Médicis, en Liorna, se aplicó un procedimiento parecido en el asiento de los sillares. Concretándonos al caso actual, conviene hacer notar, que las dificultades del asiento vencidas fácilmente en una ria tranquila, no lo serian tanto en un mar abierto, é imposible en un mar agitado. Los balances de la gabarra harian chocar el sillar contra el fondo en el momento del asiento, con esposicion á roturas en los aparatos y grave riesgo de la embarcacion y de la vida de los tripulantes. Si se examina la grua, se reconoce fácilmente que sus piezas no están calculadas con arreglo á los esfuerzos que deben resistir, resultando exage-

radas las dimensiones de todas las de la parte posterior: los brazos de popa solo resisten los pequeños esfuerzos transmitidos por los tirantes horizontales, y los montantes de aquella parte son innecesarios, pues no sostienen el depósitode agua, segun supone el autor, antes bien cargan sobre él. El depósito quedaria suspendido en igual forma en que lo está el sillar, únicamente cuando colgase de la grua, sin estar ligado al cuerpo del ponton.

Tales son los procedimientos más conocidos, relativos á la fabricacion y asiento de los sillares artificiales; tendremos todavía motivo de volver á tratar esta cuestion, cuando estudiemos los sistemas de construccion referentes á las fábricas concertadas de los diques.

---

tensamente cuando nos ocupemos de la construccion de los diques de carena, obras más delicadas que los diques de abrigo.

En Cherburgo se ensayó, para amortiguar el choque durante la construccion del cimiento, una tela extendida, que permitiese fraguar al hormigon: la prueba salió cara é incómodo el uso, desgarrándose en muchos sitios antes de servir; no evitando, por su mucha extension, los malos efectos que se intentaba cortar, y, cuando se conseguia, se llegaba al mismo resultado sin la tela.

Tambien fué necesario, en la misma obra, establecer por la parte del mar una defensa, para extender, al abrigo de ella, el hormigon. Constaba de tres filas de sillares, los de la exterior de hormigon, y de mampostería las otras dos; sirviendo la más interior de apoyo á los sillares del paramento. Esta defensa hacía tambien las veces, por el exterior, de un recinto para encerrar la capa de hormigon, sostenida en el interior por un pequeño muro de mampostería en seco.

Los sillares de defensa se empleaban en la obra, ya fabricados, ya construyéndolos en el sitio mismo de su asiento: los primeros, suspendidos de flotadores, se colocaban en fila, tendiendo una cadena para alinearlos, á fin de que cayesen ordenados; dejando sujetos con la cadena, durante algun tiempo, los dos de las extremidades. Cuando se fabricaban en el mismo punto de su empleo, se dejaban las cajas hasta el momento de macizar los intervalos que mediaban entre ellos, con objeto de evitar que las plantas marinas, que se desarrollan con gran rapidez en aquella costa, impidiesen la union del hormigon fresco. Tambien se tomaba la precaucion de cubrirlos con tablas durante el fraguado, para no ser deshechos por la resaca, y más tarde se sustituyeron las tablas con una capa de dos centímetros de cemento muy enérgico. Las cajas llevaban además en el fondo una tela, que, limitada á una pequeña superficie, no ofrecia los inconvenientes que consignamos al mencionar el ensayo que se hizo de una cubierta general.

A pesar de tantas precauciones, el golpe de ariete rompió y destruyó la banqueta de defensa, demostrando la experiencia ser supérflua, y limitándola, por esta razon, en los trabajos sucesivos, á una fila de sillares fabricados en el mismo sitio y colocados á soga y tizon exteriormente: estos sillares distaban 0,50 metros del paramento. Para mayor seguridad, se continuó usando en las cajas el fondo de tela, y cubriendo el sillar con una

capa de cemento romano de 6 á 8 centímetros. Los sillares están defendidos con grandes cantos de escollera, que pesan de 2 1/2 á 6 toneladas.

La principal defensa de estos sillares consiste, segun vemos, en los grandes cantos de escollera arrojados delante, los cuales, empujados por las olas contra la muralla, y arrastrados, ya en un sentido, ya en otro, socavaron el zócalo de sillares artificiales, penetrando debajo de la muralla 0,20, á 0,30 metros. La experiencia demostró la insuficiencia de la defensa, y cuando más tarde se construyeron las cabezas y el macizo central del dique, se defendió la escollera hasta 3,50 metros debajo de la línea de baja mar, con hiladas regulares de sillares de 20 metros cúbicos, cuya masa, insuficiente en los temporales cuando resistian aislados, soportaba sin moverse el embate de las olas, defendidos unos por otros.

Los sillares de defensa, desde el pié de la muralla hasta la baja mar de mareas muertas, se fabricaban en el mismo sitio de su empleo, procurando no estuviesen en contacto, para facilitar los asientos de la escollera y evitar las roturas de la fábrica del zampeado. Los espacios intermedios se rellenaban con hormigon, ligándolos unos con otros, aunque aislándolos por masas de 20 metros cuadrados. A partir de la línea de baja mar, ya dejaba la marea suficiente calado para hacer uso de los flotadores. La mayor parte de estos últimos sillares eran, segun se ha dicho antes, de mampostería, y un pequeño número de hormigon.

Sea cualquiera el sistema que se aplique, se necesita, para resistir el golpe de ariete, una carga de 1,50 á 2 metros de grueso, de fábrica de hormigon. En el Fuerte Boyardo, en donde una gran rompiente impedia fraguar al hormigon, se apeló al recurso de subdividir la superficie de fundacion, ademas de la defensa de sillares artificiales, ordenados por hileras como en Cherburgo. Se dividió la obra en pequeñas porciones aisladas de 12 á 16 metros de extension superficial, cuyos recintos se reforzaron con sillarejos unidos por cementos muy enérgicos, y rellenos los compartimientos con hormigon. Los muretes variaban de espesor desde 0,30 á 1,20, segun su altura y el esfuerzo de las olas sobre ellos: muchas de estas cajas han resistido perfectamente sin llenar. Relleno un cuadro con el hormigon, se cubría con losas asentadas con cemento, ó si el tiempo urgia, con una capa general de hormigon.

Los muretes que forman el recinto de las cajas, se cimentaban, en las partes inferiores á la baja mar, sobre sacos de hormigon, con los cuales se

rellenaban los huecos, hasta que llegando á flor de agua era posible sentar las primeras hiladas.

Cuando los sillares ó mampuestos que forman el muro de coronacion del dique, son suficientemente crecidos y cuando el pié del muro está, por decirlo así, enterrado en la escollera, se suele prescindir de esta capa de asiento y levantar la fábrica directamente sobre la escollera, sin intermedio de la capa de hormigon. Asi se practicó en Holyhead, Portland, Braye, Jersey, y en general en todos los diques ingleses construidos por este sistema. Terminado el asiento de la escollera, se abre en ella una zanja, y la defensa de grandes cantos llega ordinariamente hasta la mitad ó un tercio de la altura de la muralla.

246.—Construccion de las fábricas del dique.—La disposicion general del dique, es, por lo general, la siguiente: dos muros de paramento, más ó menos gruesos, con un relleno intermedio: este relleno varía segun las condiciones de la obra, y de los recursos y materiales de que se dispone. En Santa Catalina (Jersey), y en los primeros tramos de el de Alderney, consistía el relleno en escollera menuda. Lo más general es hacer uso de la mampostería, como en Alderney, en Holyhead y en Cherburgo; y por último tambien se ha rellenado con hormigon, en todo, como en los diques que forman las bocas del Tyne, ó en parte como en las primeras hiladas de Cherburgo. Llevan además, contrafuertes ó muros trasversales, que ligan los dos paramentos, y sirven para dar más resistencia á la obra y limitar los asientos y destrozos causados por los temporales. Con este objeto en Alderney, se construia, á la terminacion de una campaña, un fuerte muro de 3,50 metros que servia de cabeza hasta la siguiente.

La coronacion ó espaldon que defiende la parte superior del dique está construido bajo el mismo sistema que el inferior; únicamente se procura dejar espacios abovedados en la fábrica, ó se voltean bóvedas sobre contrafuertes. Tales bóvedas ó nichos se encuentran en Holyhead, Portland, Braye y en los diques del Tyne, como veremos en la descripcion de dichas obras.

Las fábricas levantadas sobre la escollera están expuestas á violentos golpes de mar y exigen mucho cuidado en su construccion. Al chocar las olas directamente contra ellas, producen en los sillares fuertes sacudidas, tendiendo á separarlos de los morteros; y aún á hacerlos abandonar el macizo si el agua ha podido penetrar detrás de ellos por las juntas [215].

En las fábricas expuestas á la accion de las mareas, el agua, que en la plea mar ha penetrado por las juntas, tiende á salir en la baja, arrastrando consigo las partículas de mortero; este efecto, repetido dos veces por dia, produce al cabo de algun tiempo de gradaciones más ó ménos graves, que tratarán de evitarse desde el principio, haciendo las fábricas muy compactas. Es preciso advertir, que, cuando el paramento de sillería es muy elevado, y el macizo está compuesto de mampostería ú otra fábrica diferente de aquella, la desigualdad de asiento tiende á ensanchar los lechos y juntas, y abre grietas que producen degradaciones del género de las que acabamos de mencionar; por lo cual deberán ligarse, en cuanto sea posible, los sillares del paramento, entre sí, y con el macizo interior. Para conseguirlo, se usó, en ocasiones, unir unos con otros, no solo los sillares que pertenecen á una misma hilada, sino los de cada hilada con los de las inmediatas. En realidad sería preferible formar todo el macizo de sillería, lo que no se hace sino muy raras veces, como en la construccion de algunos faros (el de Eddystone por ejemplo).

En este caso, se enlazan entre sí los sillares á cola de milano, ó por piezas de esta forma, que hacen el oficio de grapas. Tambien se colocan dados de piedra dura empotrados hasta su mitad en cada dos hiladas contiguas. Este sistema, que ha recibido una de sus primeras aplicaciones en el faro de Eddystone, ha sido empleado con éxito en la torre de Bouvinet (construida sobre la roca de este nombre á la entrada del portillo de Fromentine), en las cabezas del dique de Plymouth y en otras varias obras.

Es difícil reunir por medio de grapas los sillares de los diques, porque el agua del mar ataca al hierro; no se deben emplear sino cuando hay seguridad completa de que permanecerán cubiertas por el mortero, en cuyo caso se conserva intacto, como se ha observado en la demolicion de la esclusa de Flesinga, cuyos sillares de paramento estaban interiormente unidos con grapas de hierro, perfectamente conservadas, mientras que los pasadores del zampeado se encontraron enteramente corroidos.

El cobre rojo y el bronce dan grapas de mucha duracion, pero muy caras y de poca resistencia. Los excelentes morteros hidráulicos de que disponemos, no dejan nada que desear para el empotramiento de las grapas y piezas metálicas de los sillares; pero lo mejor de todo, es emplear grandes sillares y buen asiento; y este sistema, aplicado á los grandes diques (Cherburgo, Holyhead), ha dado excelentes resultados.

En cuanto á la ejecucion de la fábrica, la prudencia aconseja que no se haga por hiladas de gran longitud, y que los operarios que construyen una hilada, sean seguidos de muy cerca por los que construyen la inmediata, para que la fábrica avance progresivamente sobre bastante altura, y cada hilada esté casi inmediatamente cargada con el peso de las superiores, que la asegura contra los golpes de mar á que estará expuesta durante la construccion. Esta marcha es sobre todo conveniente en el Océano, cuando los diques han llegado al nivel de la media marea, en cuyo caso es mayor la accion de las olas sobre los trabajos. Se vé, pues, que el buen éxito de la construccion de las fábricas en el mar, depende principalmente de la rapidez del fraguado de los morteros, que deberán estar compuestos con cementos muy enérgicos.

En Cherburgo se tomó la precaucion de ligar los muros de los paramentos por otros trasversales, distantes 25 metros, cuya distancia se reducia á la mitad, cuando se acercaba la estacion de los temporales, en que era forzoso abandonar los trabajos. De esta manera, los asientos y los destrozos causados, se limitaban á un pequeño tramo, quedando cortados por estos muros. Este sistema de muros trasversales es muy general, habiéndose imitado en los diques que forman la desembocadura del Tyne, en Alderney y otros diques. Cuando la obra se suspende, se construye un muro de cabeza todavía más resistente.

Otra precaucion que es conveniente tomar, además de esta defensa lateral, es el cubrir las fábricas no terminadas, por una bóveda compuesta de sillarejos sentados de canto y bien trabados con cementos enérgicos. A esta precaucion fué debido en Cherburgo la conservacion de gran parte de la obra.

Cuando los diques están aislados, es en extremo difícil el abastecimiento de materiales, en cantidad suficiente para que la obra avance con la rapidez necesaria. El espacio para establecer los talleres y el depósito de materiales es muy reducido, especialmente al principio de los trabajos: en casos tales, no queda más recurso que establecerlos en tierra, lo más próximo que se pueda á la obra, hasta que el progreso de ésta permita trasladarlos en todo ó en parte sobre el dique. Así se practicó en Cherburgo; la sillería, labrada en tierra, el mortero y el hormigon fabricados en la costa, se trasportaban en barcas remolcadas por un vapor.

Conviene emplear en el trasporte de los materiales preparados, barcos

ó gabarras de fondo chato que puedan acercarse á la escollera y varar sin peligro sobre las banquetas de la capa de hormigon: así eran las chalanas usadas en Cherburgo, de 12 metros cúbicos de cabida las destinadas al trasporte del mortero ó del hormigon, las cuales se varaban sobre la banqueta Sur del dique, amarrándose á postes clavados en el hormigon y en la escollera. Las destinadas al trasporte de la sillería, llevaban una grua para verificar el asiento. El sillarejo y la mampostería se depositaban sobre la misma banqueta.

Cuando el dique llega á suficiente altura sobre la baja mar, suele aprovecharse para depósito de materiales, trasladando á él los talleres de labra de la sillería y de la fabricacion del mortero y hormigones; aunque esto sea expuesto, por los arrastres de materiales con temporales ó fuertes ó rachas de viento, como sucedió en Cherburgo, en cuyo dique fueron arrastrados sillares pesando 4 toneladas.

Bonin recomienda principiar la fábrica por la parte que mira á tierra, para dar tiempo á que asienten los recargos con que se reponen los destrozos que las olas causen en la parte que mira al mar. Este precepto no es tan evidente como Bonin pretende; cuando la construccion de la fábrica principia, la escollera ha sufrido los mayores asientos; y levantadas las fábricas por la parte del mar, ponen á cubierto de sus embates el resto de la obra, durante la construccion, que se lleva á cabo á su abrigo. En rigor, lo más conveniente será siempre avanzar con la obra en toda su anchura, evitando con esto soluciones de continuidad y la dificultad de enlazar fábricas de distintas épocas. En todos los casos, es prudente activar los trabajos, para disminuir las probabilidades de que sobrevengan temporales, y aumentar la resistencia con el peso de las fábricas construidas.

En los diques aislados, sólo es posible trabajar durante el verano; los dias serenos del invierno son poco favorables, á causa de las heladas; los temporales se suceden con excesiva frecuencia, y el resto de los dias no hay en el mar tranquilidad suficiente para atracar á la obra las embarcaciones que conducen materiales. Una campaña de trabajo, dura en las costas del Océano de 6 á 7 meses, no pudiendo contarse con más de 250 á 300 horas de trabajo efectivo para las primeras hiladas.

247. Construccion de varios diques.—En ningun dique se han acumulado, como en Cherburgo, las dificultades de construccion, por su magnitud, aislamiento, distancia á la costa y lo desabrigado de la rada; sólo se

logró llevarla á término, empleando las mayores precauciones y materiales más escogidos. Los paramentos son de granito; de sillería el exterior y el interior de sillarejo, ambos sentados sobre losetas cubriendo el hormigon, al cual van adheridas por cementos muy enérgicos. El relleno es de buena mampostería; el de las tres primeras hiladas de hormigon, para acelerar el trabajo. A la hilada de coronacion se la dió gran resistencia, cubicando los sillares, por lo menos, 4/5 de metro, excediendo muchos de un metro, con un peso de 3 toneladas. En un principio se ligaron las piedras con dados de bronce, cuya inutilidad se reconoció más tarde. La hilada de la coronacion del paramento interior tiene 0,50 metros de altura, y la del espaldon ó segundo cuerpo solo 0,35. El piso, despues de varios ensayos, se formó con losas asentadas sobre una capa de hormigon de 0,25 metros de grueso, y se adoptó para el pretil un aparejo complicado, con objeto de dar mayor resistencia, por el enlace de unas piedras con otras.

Para abrir, en Holyhead, la zanja que debia poner al descubierto el cimiento, á la altura de 0,30 metros sobre la baja mar, se deshizo parte del andamio que sirvió durante la construccion del macizo de escollera [231] suprimiendo en él las dos vías del lado que mira al puerto, y dejando subsistentes las tres exteriores, hasta la terminacion de la obra en el trozo en construccion, para los recargos de escollera que debian servir de defensa á la muralla. A medida que la zanja se profundizaba, se estableció una vía provisional (lám. 14.ª, figs. 1.ª y 2.ª) con 1/30 de inclinacion, para correr sobre ella una grua ordinaria, que elevaba los cantos extraidos de la zanja y los distribuia, los grandes al exterior y al interior los pequeños. Cuando la marea llegaba á la grua, se suspendia el trabajo, retirándola por la vía sobre que estaba montada, hasta ponerla fuera del alcance de las aguas.

La forma de la zanja era un doble trapecio; á la altura de 2,30 metros sobre la baja mar, se dejaban dos banquetas para apoyar sobre ellas el andamio y la grua de doble movimiento destinada al asiento de los sillares.

Constaba el andamio de dos palizadas, una de cada lado de la zanja, distantes 15 metros próximamente, y coronadas de una doble fila de largueros con sus carriles, sobre los que debia correr la grua.

Adosada á la palizada y por su parte interior, se colocó una série de caballetes que sostenian la vía apoyada en dobles largueros, formando la

prolongacion de la que, desde las canteras, servia para conducir los materiales destinados á la construccion del muro.

El dique se compone de un muro exterior de mampostería formada con grandes cantos en el paramento que mira al mar, desde 1 á 4 metros cúbicos de volúmen (10 toneladas), rellenos los huecos con mampuestos de menores dimensiones trabados con motero. Adosado á este muro y por la parte interior, lleva un macizo de piedra revestido de sillarejo, con un talud de 45° en los primeros trozos, y un muro vertical en los siguientes. El espaldon ó macizo de coronacion está abovedado, destinando á almacenes los espacios cubiertos; sistema que tambien se adoptó en Portland, Alderney, bocas del Tyne y otros diques: en el primero, en vez de abrir nichos en el macizo, se voltearon verdaderas bóvedas sobre pilares ó contrafuertes.

En Holyead llegaban los materiales á la obra, desde la cantera, por la vía establecida sobre caballetes; la grua de doble movimiento los cogia y los asentaba en el sitio correspondiente.

Tambien se fundó en Portland sobre la misma escollera, al nivel de la baja mar, sin intermedio de capa de hormigon, utilizando, para terminar la obra, el mismo andamio que sirvió en la formacion de la escollera. El paramento exterior, hasta la altura de 3,90 metros, es de granito, para resistir al rozamiento de los grandes cantos que se arrojan como defensa sobre la escollera, que se eleva hasta aquella altura. En el resto de la obra se invirtió caliza de Portland.

En Braye (isla de Alderney ú Aurigny), se arrojaba la escollera por medio de barcazas de 60 á 140 toneladas de carga, y cuando llegaba el macizo á 3,60 metros de la baja mar, se dejaba asentar durante tres ó cuatro años antes de principiar la fábrica. La forma de la parte superior del dique permaneció la misma en las diferentes fases que atravesó la construccion, pero variaron sus condiciones, segun la obra avanzaba y demostraba la experiencia la conveniencia de modificarlas. Formaban el dique dos muros, ligados por otros transversales á 18 metros de distancia, el cimiento, que se principió en la línea de baja mar, fué descendiendo sucesivamente á 3,60, y llegó en la cabeza á 7,30 metros. El talud, de 3/4 por 1 en el paramento exterior, se redujo á 1/2 por 1, y por último, á 1/3 como en el interior, que se conservó inalterable para toda la obra.

En el principio de ella, se componia el macizo de una mampostería ó fábrica de grandes sillares sin labrar, asentados en seco, con un relleno

de escollera menuda; pero luego se vió ser insuficiente esta fábrica, y se construyeron los dos muros del cimiento, hasta las bajas mares, con sillares de hormigon revestidos, en cada hilada de el muro exterior, por una fila de granito. La parte superior es de mampostería con mezcla, en el frente exterior hasta el paramento interior del espaldon, y más tarde se extendió esta fábrica á todo el relleno: el espaldon siguió las mismas modificaciones.

Cuando se juzgaba haber sentado la escollera lo bastante, se establecia un andamio de 21,50 metros de ancho, sobre piés derechos rollizos, hincados en la escollera. El andamio se armaba por medio de una placa giratoria, sobre la cual se colocaban dos vigas de 25 metros de largo. Una de las extremidades, que hacía las veces de pescante, sobresale más que la otra, en donde se coloca el contrapeso. En el centro lleva un torno, cuya cadena pasa por una polea en el extremo del pescante. Los buzos abrian en la escollera un pozo, al cual se hacía bajar el poste, asegurado el pié á una losa de 700 kilógramos de peso. Cuando los postes de un tramo estaban colocados, se aseguraban al del anterior. En los espacios laterales del andamio se establecieron seis gruas de carreton para servir la obra; en el centro, hasta la placa giratoria que lo ocupaba, corrian dos vias férreas. Todo el asiento de la fábrica, hasta la baja mar, se hacía por medio de buzos.

El andamio volante de los buzos, situado 3 metros más bajo que el andamio fijo ya descrito, estaba suspendido de él por medio de barras de hierro; desde allí bajaban los buzos por escalas de hierro. Seis buzos trabajaban á la vez, remudándose las cuadrillas cada cuatro horas seguidas: el trabajo por dia de un buzo, fué, en 1860, de 6,50 metros cúbicos de fábrica, creciendo progresivamente hasta llegar á 10 en 1862, además del trabajo de la escavacion para el cimiento.

La obra sobre la baja mar se llevó á cabo por los métodos expuestos en este capítulo, levantando de trecho en trecho contrafuertes, y, al terminar la campaña, uno de 4,50 metros de grueso. La cabeza del dique es rectangular, para prolongarlo, si ocurriese la necesidad de dar mayor abrigo á la rada.

El tipo de Braye fué imitado recientemente en el dique Norte, de los dos que forman la canal de entrada en la desembocadura del Tyne; el del Sur es de construccion más sencilla. La base del dique del Norte es de es-

collera, con cantos, cuyo tamaño varía desde la grava hasta 8 ó 10 toneladas de peso. La piedra se arrojaba desde gabarras, esperando dos inviernos, por lo ménos, para su consolidacion. El tendido exterior de la escollera es de 2 por 1 para la parte inferior, y de 7 por 1 para la superior, hasta la baja mar.

Como en Alderney, los paramentos son dos muros, fundados los 430 primeros metros, al nivel de las bajas mares de aguas vivas equinociales, y 3,50 metros más bajo, en lo restante del dique. Lleva tambien, como en la citada obra, muros trasversales, á la distancia de 7,60 metros, rellenos con hormigon los espacios intermedios. Los muros, hasta la baja mar, están formados con sillares artificiales de hormigon ó de mampostería, de 6 á 15 toneladas de peso, reservando los últimos para los paramentos. Los sillares del paramento de los muros son, desde la baja mar, de piedra natural sin labrar, y el resto de sillares artificiales, como tambien los muros trasversales en toda su altura.

Sobre el cuerpo del dique se levanta un espaldon de sillarejo relleno con hormigon, defendido por un pretil, que no basta á resguardar del rocion, que sube 15 metros sobre él, ó 28 sobre el nivel de la plea mar. Para abrigo de la gente, lleva bóvedas, como los diques de Portland, Alderney y Holyhead.

Todo el trabajo se llevó á cabo, en este dique, con el auxilio de un andamio levantado sobre la escollera, con una elevacion de 7,50 metros sobre las pleas mares de agua viva; la obra, hasta la baja mar, se asentó con buzos.

Mas sencillos todavía que los anteriores, son los diques de Santa Catalina y Saint-Hellier en la isla de Jersey, reducidos á dos muros de poco espesor formados con cantos ligeramente desbastados y sentados en seco. Desde la plea mar de mareas muertas hasta la coronacion, los paramentos se fabrican con mortero. El relleno es todo de piedra en seco, ó escollera menuda.

Aunque los diques de que ahora nos vamos á ocupar pertenecen á otros tipos, el sistema de construccion es el mismo para todos á partir de la baja mar. En Dover, los paramentos son de sillería, y el relleno de hormigon en masa para los primeros tramos, se sustituyó más tarde con sillares artificiales hasta la plea mar de mareas muertas, y de hormigon el resto.

En Aberdeen se empleó el hormigon en masa para la coronacion del dique; comprendia ésta desde 0,30 metros sobre las bajas mares de

mareas muertas, hasta el piso del dique, ó sea, una altura de 4,50 metros; y la cabeza se elevaba en forma de torre con una altura sobre el piso de 6,70 metros.

Los tableros de el encofrado eran tres; uno trapezoidal para el frente, y rectangulares los de los costados; el otro frente lo cerraba el muro ya construido. Los tableros (lám. 15.ª, fig. 3.ª) se armaban en la forma siguiente: se colocaba una série de postes de 6 metros de alto, distantes 2,44 metros de eje á eje; cada poste está compuesto de cinco maderos, el central de 0,30 por 0,15 metros de escuadría, y los cuatro restantes que se colocan lateralmente, dejando una ranura de 0,15 metros de ancho: tienen de escuadría 7 1/2 centímetros los interiores, y 7 1/2 por 15 los exteriores, clavados los primeros, y asegurados con pernos los segundos, al madero central. Entre cada dos postes corren por las ranuras, bastidores formados con tablones verticales clavados á dos horizontales, de manera que la cara exterior de los tablones coincide con la de los postes, y no deja entradas en los paramentos del dique: á cada tablero corresponden, en toda su altura, 9 bastidores. En el tablero de frente, por el contrario, los bastidores son tablones de 28 centímetros de altura, 7 1/2 de grueso, y queda la mitad de cada poste dentro del hormigon, dejando así ranuras verticales para ligar con la masa contigua.

Desde cada poste al de enfrente, van 4 filas de tirantes de hierro con sus tuercas, para resistir al empuge del hormigon hasta su fraguado: estos tirantes quedan enterrados en la masa del hormigon. Lo mismo sucede con el tablero de frente, que se une al paramento de la parte construida, por los extremos de los tirantes que han quedado al descubierto, al quitar los postes en el último trozo de dique. Toda la caja esta forrada de abacá, para defender el hormigon de los golpes de mar. Cuando se dispone de gruas ó aparatos elevatorios de gran fuerza, les tableros se conducen y colocan armados en la obra, lo cual economiza mucho tiempo.

Cada cajon comprendia todo el ancho del dique, siendo su longitud la necesaria para que se llenase en una marea; elevándose la obra más rápidamente que ella, y evitar que el agua del mar penetre en el hormigon. Para acelerar la terminacion, solian introducirse en la masa sillares de hormigon fabricados en un taller.

El sistema, de que nos ocuparemos más extensamente al tratar de las construcciones concertadas, es poco económico; pudieron muy bien introdu-

cirse dentro de la masa, cantos y piedra que disminuyesen el cubo del hormigon, reservando este material para los paramentos. Por lo demás, la solidez es perfecta; las entradas de los paramentos de cada masa, la ligan en el sentido horizontal, con las contiguas; al paso que en el vertical, las ranuras permiten el resbalamiento, amoldándose á los pepueños movimientos de los asientos de la fábrica.

CAPÍTULO XV.

SISTEMAS CONCERTADOS.

RESUMEN.

248. Sistema general de construccion.—Los medios que se emplean en los trabajos en el mar, son los mismos que se estudian en los tratados generales de construccion con aplicacion á las obras construidas en los rios, canales, y en general, á todas las comprendidas bajo la denominacion de hidráulicas; pero existe una diferencia que obliga á desechar algunos métodos, ó á modificar radicalmente otros, convirtiéndolos en nuevos sistemas. Las mareas, por ejemplo, allí donde tengan una extensa carrera, obligarán á abandonar las ataguías, cuyo recinto necesitaria una elevacion extraordinaria para oponerse á la entrada del agua, y un grueso exagerado para resistir el empuje y cortar las filtraciones, haciendo imposible en muchos casos, y en otros muy difícil, la construccion de la obra, dentro de las condiciones económicas.

Otra dificultad que las obras en el mar oponen al constructor, provie-

ne de la magnitud de la obra, fuera de proporcion, ordinariamente, con las construidas en los rios. En los diques de abrigo es en donde esta dificultad se hace sentir más, y á ellos limitaremos, por ahora, el estudio de los procedimientos de construccion aplicables á este género de obras hidráulicas.

La facilidad que las escolleras prestaban á la construccion de los diques, y las dificultades con que se tropezaba para trabajar debajo del agua, retrasó la aplicacion de otras formas más racionales y conformes con los principios de la construccion. El progreso ha sido sorprendente en estos últimos veinte y cinco años, y pudiera asegurarse que, durante este período, los diques de escollera forman la excepcion, segun haremos ver más adelante.

Si en el fondo del mar se pudiera prescindir del agua que por todos lados rodea al obrero, se trabajaria allí lo mismo que en tierra, y los procedimientos de construccion serian tambien los mismos. Las campanas de buzos resolvian el problema muy imperfectamente, pero la invencion de la escafandra facilita de tal manera la construccion que, despues de repetidos ensayos, puede admitirse el dicho de un célebre Ingeniero, quien, al describir el dique de Dover, asegura que la sustitucion de la escafandra á la campana de buzos, vino á demostrar que se podian sentar sillares en el mar, casi con la misma facilidad y prontitud que sobre el nivel del agua (1).

Son muy notables las obras de gran magnitud é importancia que se han llevado á cabo utilizando la campana de buzos ó la escafandra. En Inglaterra, limitando la enumeracion solo á los diques, se puede asegurar no hay uno que, dentro del plazo señalado antes, no haya, como base de la construccion ó auxiliares de ella, utilizado aquellos aparatos. Los diques de Dover, Alderney, los de las bocas del Tyne, las cabezas de Portland, Holyhead y Sunderland, sin mencionar otros de que nos ocuparemos en este capítulo, han exigido el trabajo de los buzos en profundidades variables desde 3 1/2 metros á 13, en baja mar. En Francia los muelles de Argel y Marsella, los diques de Brest, y sobre todo, el gran dique de carena de Argel, con 14 metros de agua y expuesto á los embates de una mar borrascosa. En España solo podemos citar el dique del Carril como construccion; pero del mismo género son los trabajos de los puentes de Porto y

(1) Véanse los apéndices.

Navia, cimentados á 20 metros debajo de la baja mar, la limpia del antepuerto de Gijon, y otros de igual índole.

Lo que antecede, y más numerosos ejemplos que tendremos ocasion de mencionar más adelante, demuestran no ya la posibilidad, sino tambien la facilidad del trabajo con la escafandra y la campana de buzos. Citamos obras cimentadas á todas las profundidades, para hacer ver que no es ella el principal obstáculo; antes por el contrario, cuando la profundidad es pequeña, la agitacion exterior se trasmite más violenta, sobre todo, cuando el calado está próximo al límite en que la ola debe romper.

249. Construccion por medio de buzos. Obras de Dover.—Aunque ya con anterioridad á las obras ejecutadas en el puerto de Dover, se habia aplicado el sistema concertado á diques constantemente sumergidos, eran tan pocas en número y tan pequeña su importancia, que las de Dover podian considerarse como gigantescas por su magnitud y las dificultades con que se iba á tropezar. Dover por su comercio, por su situacion en el Canal de la Mancha y por su condicion de puerto de refugio, exigia un ensanche en el puerto, cegado en su mayor parte por los aluviones de cantos rodados, que recorren la costa Sur de Inglaterra [118]. Por otra parte, Dover carecia por completo de materiales de construccion, y los más próximos, era forzoso traerlos de cincuenta leguas de distancia, lo cual obligaba á renunciar al sistema de piedra perdida (general entonces en los puertos de Inglaterra), que haria imposible aquella obra, por la enorme masa de piedra que absorberia, imposible de suministrar á un precio módico. Además, las violentas corrientes que se desarrollan en aquel sitio, dificultaban los trabajos, complicándose todavía más la solucion del problema, con la mala naturaleza del fondo, que hacía insegura toda construccion no cimentada con el mayor esmero. Tales son las desfavorables condiciones en que debia ensayarse un sistema nuevo que, á todos los inconvenientes enunciados, añadia el no estar sancionado por la experiencia.

Con objeto de reunir todos los datos necesarios para elegir con más acierto el sistema, se abrió una ámplia informacion, no solo sobre el trazado de las obras más convenientes á la mejora del puerto y á la conservacion del régimen de la bahía, sinó tambien acerca de los más acertados y económicos procedimientos de construccion. Entonces surgió incidentalmente, aunque vino á ocupar un puesto principal en la discusion, la cuestion relativa al perfil de los diques, tratada ya en el capítulo XI

bajo el punto de vista del régimen del puerto y resistencia de la obra, como ahora lo hacemos bajo el punto de vista de la economía y facilidad de la construccion. La mayoría de los proyectos presentados se basaban, por las razones dichas, en la economía de la masa de piedra, ya reduciendo su volúmen, ya reemplazándola con otro material más barato. La Comision se decidió por un revestimiento de sillares artificiales fabricados con ladrillo, y un macizo de hormigon como relleno; pero el Gobierno ingles desechó los sillares artificiales, reemplazándolos con sillería sentada en la baja mar de mareas vivas. Más tarde el relleno de hormigon en seco, se sustituyó con sillares artificiales del mismo material.

No discutiremos si el trazado de los diques fué el mejor, entre los varios proyectos presentados; limitándonos á la construccion, describiremos la obra, y al final de la descripcion haremos su crítica, refutando al mismo tiempo las objeciones que contra el sistema se han formulado.

La carrera de la marea en el puerto de Dover, es de 5,80 metros en mareas vivas ordinarias (que sube á 7,70 en la extraordinaria), y de 3,35 en las muertas. La profundidad máxima referida á las bajas mares de agua viva era de 13,70 metros en el sitio ocupado por el dique. Este lo constituye un muro fundado sobre margas, limpiando antes la capa de légamo y canto rodado que las cubre. Los paramentos del dique son de arenisca dura de Leeds, caliza de Portland, y granito de Penzane; se les dió un talud de 1/3 en los 244 primeros metros, que se redujo á 1/4 en lo restante de la obra. El grueso, al nivel de la baja mar de agua viva ordinaria, es de 5,56 metros para el muro exterior y de solo 5,11 el interior, quedando un espacio intermedio de 8,53; la anchura total es de 19,20. Los muros de paramento aumentan de espesor hasta el fondo, con arreglo al talud, y disminuyen hasta la coronacion, á 8,83 metros sobre la baja mar de agua viva, donde queda reducido á 13,32 en el primer perfil y á 13,72 en el segundo. Este dique, con la profundidad de 13,72 metros á que hoy alcanza, tiene una elevacion total de 22,55.

El relleno es de sillares de hormigon, sin mortero hasta la baja mar de agua viva; con mortero hasta la de mareas muertas, y de hormigon hasta 1,53 metros sobre las pleas extraordinarias, ó 3,05 sobre las ordinarias, y luego el terraplen hasta la parte superior. Sobre este cuerpo lleva, por el lado exterior, un muro de abrigo de perfil cóncavo exteriormente, para arrojar fuera las olas; tiene de altura 4,57 metros y un paseo de 3,51 de

ancho. Tambien lleva, en su interior, algunos almacenes abovedados.

Los sillares naturales empleados hasta la baja mar de mareas vivas, tienen de altura de 0,61 á 1,14 metros, y de 0,53 á 0,61 desde aquella línea hasta la coronacion; habiéndose cuidado de colocar los mayores en el fondo, y disminuyendo las hiladas á medida que la obra se eleva. Los de 1,14 de espesor tienen, cuando están á soga, 2,13 metros por 1,34; y á tizon, 1,22 por 2,00; ó sea 3,26 metros cúbicos y 2,78 respectivamente; que dan por término medio 3 metros cúbicos.

Los sillares artificiales varían, con arreglo á las hiladas, entre 0,90 metros cúbicos y 3,40. Son de forma rectangular, fabricados en cajas-moldes, y con las aristas chaflanadas. Los de 1,14 metros de alto tienen 1,22 de ancho y 1,37, 1,62, ó 2,44 de largo, con objeto de facilitar el aparejo.

Toda la obra se ha construido por medio del andamio descrito [231] (lám. 15.ª, figs. 5.ª, 6.ª, 7.ª y 8.ª). Para la construccion hasta la baja mar se hizo uso de la campana de buzos; el agua turbia, y sobre todo las violentas corrientes del Canal de la Mancha, que azotaban y derribaban á los buzos, no permitieron el uso de la escafandra hasta el último período de la construccion; la violencia era tal, que fué necesario cargar la campana con tres veces el peso del agua que desaloja, para mantenerla próximamente vertical. En Alderney, Holyhead, Portland y Sunderland no tropezaron con tantas dificultades. La mayor de las campanas, iluminada por diez cristales, era de forma rectangular en su seccion, y tenia 2,20 metros de longitud, 1,20 de ancho y 1,50 de altura; pero de ordinario se trabaja con campanas más manuables. En cada campana se establecian dos obreros, alumbrándose con esperma, por no permitir lo cenagoso del agua aprovechar la luz que penetraba por los cristales. Los buzos trabajaban ordinariamente cinco horas seguidas. Además de los dos buzos, se destinaban ocho obreros más á cada campana; cuatro para moverla y otros cuatro para renovar el aire con las bombas. Seis ha sido el mayor número de campanas que han trabajado á la vez.

Hé aquí la marcha seguida para el asiento de un sillar: los materiales trasportados por caballerías, en carretones que se movian sobre carriles, llegaban, sobre la parte ya construida del dique, hasta debajo de la plataforma del andamio situada á un nivel superior. Una grua de torno móvil coje el carreton con su carga y lo eleva hasta la plataforma, dejándolo en la via central, desde la cual pasa, por medio de un trasbordador, á aquella

en donde son necesarios los materiales. Para la carga en el taller, se utilizaba la máquina de vapor que servia en la fabricacion de los sillares artificiales.

Cuando el sillar ha llegado á su destino, se le hace descender por medio de les gruas, y encima de él se baja una campana, colgando los buzos el sillar del cielo de ella por una cadena. El torno que conducia el sillar vuelve por otro, mientras los buzos y sus auxiliares practican el resto de la maniobra. La perfeccion del asiento era tal, que las nivelaciones más minuciosas dieron un desnivel de ménos de un milímetro por metro.

Más tarde, el Ingeniero encargado de la direccion de las obras empleó, con buen éxito, para defender los buzos y las campanas, una defensa, que consistia en una caja de palastro (lám. 15.ª, fig. 5.ª), cuyas dos ramas forman un ángulo que rompe la fuerza de la corriente. El cajon se lastra con agua que se introduce, ó se saca inyectando aire segun convenga, cargando más ó ménos el mamparo que sirve de defensa. Los buzos con la escafandra trabajaban á su abrigo sin ser molestados por las corrientes, y la obra adelantó en el último período con gran rapidez.

El retraso mayor de la obra dependió del cimiento, porque los tramos del dique no avanzaban sin estar aquel preparado. La creta margosa, de desigual dureza, que forma el fondo de la bahía, se presentaba al descubierto en la parte próxima á tierra ; en ella se abrieron cajas más ó menos profundas, segun la dureza. Más lejos se tropezó con un banco de cantos de silex, mezclados con légamo, que fué necesario escavar, para dejar limpios los bancos de creta; y más lejos, cuando el grueso de aquel banco era excesivo, se contentaron con profundizar lo necesario, igualando el resto. La obra es de una solidez perfecta, y, á pesar de lo expuesta á los embates del mar, no se ha resentido en lo más mínimo ; al contrario de lo que ha sucedido, segun luego veremos, con otros diques arreglados á otros tipos y construidos en la misma época. Hoy se intenta continuar la obra sin cambiar de sistema, pero sí de material, reemplazando la sillería con sillares artificiales de hormigon.

250. Cabezas de Portland y Holyhead.—Dique de Alderney.—Por el mismo sistema se construyeron las cabezas del rompeolas de Portland, que consisten en un macizo circular de 30,50 metros de diámetro, de sillares de hormigon, revestido de sillería. La obra se fundó sobre escollera, á 7,30 metros de profundidad, á contar de la baja mar: la altura

del piso sobre el cimiento, es de 7,70 metros, ó de 4,10 sobre la plea, con un parapeto ó espaldon de 3,75, que se eleva á 7,85 metros sobre la misma. El agua, clara en aquel puerto, facilitaba el trabajo y el asiento, que se hizo por medio de buzos vestidos con escafandras, sin el menor tropiezo, con solo ligeras interrupciones durante el invierno, á pesar de las violentas corrientes, conocidas de los marinos con el nombre *Portland Race* [111]. La grua de que se sirvieron para el asiento de los sillares, aunque mejor construida, era del mismo sistema que la de Holyhead [247]. Tenia doble movimiento; las extremidades del bastidor que sostenia el torno, estaban montadas sobre dos carretones, y podian girar cada una alrededor de un eje. Los dos ejes distaban entre sí 18,30 metros, ó doble del espacio que las vias ocupaban. Una via trasversal las ligaba á todas por medio de placas giratorias; de manera, que podia pasar la grua á las dos vias que conviniese, distantes 18,30 metros, y tambien colocar un extremo de la grua en una de ellas, y otro en la via trasversal. Semejante sistema se amoldaba, por su gran flexibilidad, á todas las necesidades de la construccion.

Como demostracion de la marcha regular de la obra, haremos constar que la cabeza del Oeste, principiada en Julio de 1853, se elevaba 5,50 metros un año despues, y se terminó de Octubre á Noviembre de 1855. En la del Este se trabajó durante el verano de 1855, y á fin de año se encontraba terminada.

La cabeza del dique de Holyhead forma un martillo de 45 metros de longitud por 15 de ancho. Se fundó por igual sistema, sobre escollera, á la profundidad de 8,50 metros. Y, por último, en Braye, y en los diques del Tyne, se fundó el cuerpo del dique á 3,70 metros, y las cabezas á 9,50.

251. Diques del Carril y de Aberdeen. — Los sacos de hormigon son de un uso más cómodo que los sillares, especialmente para las hiladas inferiores. El dique del Carril se construyó con aquel material, obteniéndose un éxito satisfactorio. Un andamio, como en el sistema inglés, sirvió para todas las operaciones : desde él se bajaban los sacos que cubicaban 1/4 de metro, y que canteros-buzos asentaban como sillares, sin la menor dificultad. Conviene usar tela poco tupida, para que las resudaciones del mortero hagan adherir unos sacos á otros; soldándose de tal manera en el dique del Carril, que era más fácil romper la masa de un saco que separar dos

unidos. La única crítica que merece la obra, es la del pequeño volúmen de los sacos, que pudieran sin dificultad cubicar 2 ó 3 metros. En la que vamos á describir se pegó por el extremo opuesto, exagerando las dimensiones fuera de los límites ordinarios.

El dique de Aberdeen es un conjunto de construcciones complejas: hasta 0,30 sobre la baja mar de mareas muertas, se compone de sillares artificiales de hormigon de 9 á 24 toneladas de peso, igualado el fondo, para el cimiento, con sacos del mismo material. Tambien se usaron, como defensa del pié de los muros, grandes sacos, de 100 toneladas de cabida los del lado exterior del dique, y de 16 los del interior del puerto. La grande agitacion del mar en aquella localidad, fué el motivo de encerrar el hormigon, para no ser arrastrado antes de fraguar. El resto de la obra, hasta 7,30 metros sobre la baja mar, en el dique, y 12,80 en la cabeza, lo formaba una masa de hormigon dentro de un encofrado. Habiéndonos ocupado ya [247] de la construccion de esta parte del dique, prescindiremos de ella, para tratar solo de la primera.

La dificultad de nivelar el cimiento, compuesto de una roca granítica muy dura, hizo preferir, al desmonte, el igualar el fondo con sacos de hormigon.

El andamio que se usó en todo el tiempo que duró la obra, y que describimos en el capítulo XII [231], se extendia á 55 metros más allá de la parte determinada, prolongándolo con ella á medida de su avance, pero reduciendo paulatinamente el exceso cuando el invierno se aproximaba, dejando solo 20 metros al suspender las obras. Los piés derechos quedaban encerrados en la fábrica, y se cortaban al ras del suelo, pero la parte superior se desmontaba, sirviendo para el resto del andamio; de manera, que de dicha parte, solo fueron necesarios 110 metros lineales.

Las gruas de 25 toneladas de fuerza, de doble movimiento, y la cábria de la cabeza, de 3 toneladas, montadas sobre carretones, corrian por los carriles sentados sobre los largueros del piso, hasta colocarse en el sitio conveniente: el carreton de la cábria llevaba cuatro pares de ruedas y cinco las gruas. Todas se construyeron de madera, con un torno de vapor, cuya máquina tenia los movimientos necesarios para la suspension de los sillares, la marcha del torno sobre la grua, y el de la grua sobre la via, análogamente á la que describimos para las obras de Puerto-Said y Kurrachee [240] (láms. 9.ª y 10.ª): los brazos de la grua volaban 4,27 metros por

cada lado (lám. 15.ª, fig. 13.ª). Cuando por la interrupcion de las obras era preciso retirar las gruas ó la cábria, se hacía uso de un armazon de madera, montado sobre un carreton, que recorria una via sentada sobre la parte construida del dique : este armazon llevaba en la parte superior una plataforma, con sus carriles, al nivel del piso del andamio, por medio de la cual se trasladaban las gruas á la costa.

Toda la obra se llevó á cabo por medio de buzos, vestidos de escafandras, trabajando durante 4 horas seguidas (3 1/2 efectivas), y cobrando un jornal de 7,50 pesetas. Los principales trabajaban dos tandas, y una el domingo, ó sea once tandas por semana. Generalmente eran 32, y comunicaban con barcas (una para dos buzos), en donde se instalaban las bombas y demás accesorios. Las gabarras median 7,63 metros de eslora, 2,67 de manga y 1,14 de puntal.

El cimiento se componia, segun dijimos, de sacos de hormigon encerrados en cajas de madera, de 5 1/4 toneladas de cabida las pequeñas, y de 16 toneladas las grandes (lám. 15.ª, figs. 9.ª, 10.ª, 11.ª y 12.ª). La forma es rectangular, aunque algo más ancha en el fondo que en la parte superior, con objeto de facilitar el desprendimiento de los sacos de abacá que se introducen dentro de ellas. Estos sacos, algo más holgados de lo que permiten las cajas, forman un forro interior, atándose provisionalmente los bordes del saco á los bordes de la caja. El fondo de ésta es móvil, y un escape permite abrirlo ó cerrarlo, cuando se quiere, desde la parte superior. Las compuertas de las cajas, de 16 toneladas, llevan un contrapeso que facilita el cerrarlas cuando se han abierto. La operacion se lleva á cabo muy sencillamente: el saco, dentro de la caja, se llena con hormigon; despues de lleno se sueltan las ligaduras que lo unian á la caja, y se cierra la boca cosiéndola. La grua baja el cajon á donde están los buzos, quienes indican el punto en donde debe colocarse, y en llegando á él, se abren las compuertas, y el saco queda asentado en el sitio elegido. Cuando resulta el cimiento más elevado de lo que conviene, se golpea el hormigon con grandes mazos mientras está blando, y si está duro, á medio fraguar, se descose el saco y se quita el sobrante. Las ligeras desigualdades se rellenan con pequeños sacos asentados á brazo por los buzos.

Nada diremos de la manera de sentar los sillares de hormigon, que no difiere de la forma ordinaria explicada en Dover [250], (salvo la supresion de la campana y la sustitucion con la escafandra). Los sillares pesaban de

7 1/2 á 25 toneladas, pero en la construccion debajo del agua, solo se usaron desde 10 1/2 en adelante. A los de la cabeza se dió la forma de dovela, y llevaban además en los costados un saliente semicircular en uno de ellos, y un entrante en el opuesto, para enlazarlos entre sí. Se fabricaban en moldes en la forma ya descrita en el capítulo XIII; y para no ocupar demasiado espacio en el taller, se apilaban por medio de una grua, hasta su completa consolidacion. La misma grua los cargaba sobre los wagones y los trasportaba hasta las gruas del dique.

La inmersion de los sacos de defensa de 16 y 100 toneladas, se practicaba por iguales procedimientos, difiriendo solo en la magnitud de las cajas. Sus dimensiones interiores (lám. 15.ª, figs. 13.ª y 14.ª), eran las siguientes: 9,80 metros de largo, 2,46 metros de ancho y 1,83 de altura; el fondo va reforzado con traviesas, aspas y herraje; este último pesaba 2 toneladas. El escape se componia de un gruesa chapa *A* de hierro, reforzada en su contorno; termina en un gancho *B* que sostiene el fondo del cajon, y lleva una cadena *C* en la extremidad opuesta. Las cajas se arman y se desarman separando los costados del fondo, el cual pesaba 17 toneladas y otro tanto aquellos, pero la operacion se practicaba fácilmente con la grua de 25 toneladas de fuerza.

La caja se armaba sobre consolas ó pescantes de madera, formados por piezas superpuestas apoyadas en el dique, y que vuelan lo necesario para colocar la caja; van además sostenidas por puntales y jabalcones adosados y apoyados en los paramentos del dique. Los apoyos se trasladaban á medida que el revestimiento de sacos avanzaba, y con ellos las cajas, despues de desarmadas para facilitar el trasporte. Las cajas se llenaron con el auxilio de otras más pequeñas *D* (lám. 15.ª, fig. 13.ª) de 6 toneladas de cabida, que se manejaban con la grua y vaciaban en la grande. Cuando el saco estaba lleno, se procedia, como antes, para coser la boca; se abria la trampa, cayendo la masa de hormigon en la escavacion practicada para recibirla.

Para la construccion del dique del Norte, se ha modificado el sistema; toda la obra, hasta la baja mar, la componen sacos de hormigon de 50 y 100 toneladas de peso; pero se evita la construccion del andamio, haciendo uso de grandes barcas ó gánguiles como las descritas [234], provistas de una compuerta en el fondo. Se principia escavando el suelo y estableciendo con los sacos una base de 33 metros de ancho para repartir la carga, y so-

bre ella se levanta la construccion con sacos de hormigon hasta la baja mar (fig. 175). Los sacos se llenan en los gánguiles, y se asientan lo mis-



Fig. 175

mo que se practicaba desde el andamio en el dique del Sur. El resto de la obra es un encofrado de hormigon, igual al descrito [247] para el citado dique.

Encontramos, no al sistema, sino á la obra, asi en Dover como en Aberdeen, el defecto de ser poco económica. Nada justifica la composicion uniforme dada al macizo, construyendo del mismo material el interior y el revestimiento. El relleno pudo haberse construido con escollera ó piedra en seco, como en Santa Catalina (Jersey) y Greenock, ó á lo sumo consolidado con capas de hormigon, como en Damarú, y como se ha propuesto para el puerto de refugio en el Musel.

En Puerto-Douglas (isla de Man), se evitó el incurrir en este defecto; este dique, principiado en Abril de 1867, en el cual son de hormigon hasta las escaleras, se compone de dos paramentos de sillares artificiales de 5 á 10 toneladas de peso, ligados por contrafuertes del mismo material, y los espacios vacíos rellenos con escollera. En otro dique, en el mismo puerto, principiado en 1869 y terminado en 1873, se siguió igual sistema: los sillares del paramento cubican 3,40 metros con un peso de 8 toneladas. En los puntos en que el suelo era de roca, se hizo uso de los encofrados de hormigon.

Un sistema parecido se ha acordado adoptar para la terminacion de las obras en Dover: hasta un nivel inferior á 5 metros desde la baja mar, los paramentos son sillares de hormigon, relleno el intervalo con hormigon en

masa. Desde este nivel hasta un metro sobre las bajas mares, sólo sillares de hormigon; y por último, hasta la coronacion, ó 2 metros por encima de las pleas, hormigon en masa como en Aberdeen.

252. Muelle de Dublin.—Los ingleses muestran grande aficion á la campana de buzos, y continúan usándola todavía en un gran número de obras, con preferencia á la escafandra, á pesar de las grandes mejoras que esta ha recibido en estos últimos años. Muchas y muy ingeniosas se han inventado y aplicado con mejor ó peor éxito, pero la primitiva, más ó ménos perfeccionada, continúa mereciendo la preferencia por su sencillez. El describir aquí todos los sistemas, estaria fuera de su verdadero lugar (1); limitándonos para dar idea de la aplicacion á este género de construcciones, á describir la usada en la fundacion de un muelle en el puerto de Dublin.

La campana tiene 6,10 metros en cuadro en la base inferior, 4,88 en la superior y 2,00 metros de alto; lleva encima un tubo ó chimenea de 0,92 metros de diámetro, con una altura total, para la campana con el tubo, de 13,42 metros. El tubo se puede adicionar con otros, si ha de trabajar á mayor profundidad. Los últimos 2,00 metros sirven de cámara de aire, con llaves para introducir en ella el aire comprimido de la campana, ó para dejar salir al exterior el de la cámara. Las aberturas ó puertas de la cámara de aire, de forma circular y de 0,61 metros de diámetro, son de chapa de hierro, forradas en sus bordes con un cuerpo flexible que hace el ajuste, y cerrándose por medio de cerrojos. En el centro lleva, cada puerta, un vidrio de 0,20 de diámetro que ilumina el interior del tubo, y con el mismo objeto, se dejan en lo alto de él, tres aberturas rectangulares de 0,31 metros de alto por 0,10 de ancho. La campana está iluminada por 16 aberturas rectangulares en el techo, cerradas con cristales. Cuando el agua está turbia, se usan, para el trabajo, bujías de parafina. El interior y exterior del tubo está provisto además de escalas para subir y bajar. Un tubo flexible entra en el tubo de la campana, debajo de la cámara de aire, y de allí pasa á aquella, quedando á unos 0,25 metros del fondo. Toda la campana pesa 80 toneladas.

Dentro de la campana hay dos cajas de 4,40 metros de largo, 1,20 de ancho y 0,45 de alto, suspendidas del techo por medio de cadenas y mon-

(1) Véanse los apéndices.

tadas sobre un eje que les permite oscilar y verter, en cuanto se suelta el escape. Dos esferas con sus agujas, puestas en comunicacion, una en la parte superior y otra en la inferior de la campana, sirven para trasmitir las señales, además de una campana para avisar.

La operacion se practica con gran sencillez; la campana se deja descansar sobre el fondo en el sitio en que se debe abrir el cimiento; los trabajadores llenan las cajas, y hecha la señal, la barca suspende la campana hasta llegar al punto de descarga, y practicada ésta, vuelve al sitio del trabajo.

La campana vá suspendida de una gabarra, por el intermedio de una doble grua ó pescante, con dos cuadernales de cuatro roldanas en la parte superior, y otros dos en la parte inferior unidos á una armadura que la campana lleva. La gabarra es un cajon rectangular, y tiene 24,40 metros de largo, 1,15 de ancho y 2,44 de alto. La refuerzan longitudinalmente en la mitad central, dos cuchillos de celosía, y de chapa maciza en los extremos; los cuchillos corresponden á las líneas de las gruas; el contrapeso situado en la proa, es una masa de hormigon. Todas las operaciones se practican por medio de una máquina de vapor situada en la bodega de la barca.

Dentro de la campana, trabaja una cuadrilla de seis hombres y un capataz durante cuatro horas seguidas; hay dos que se remudan, pero cada una trabaja un dia sí y otro no, una tanda de cuatro horas y dos en los dias intermedios, viniendo á resultar un trabajo diario de seis horas por término medio. Todas las operaciones se llevaron á cabo sin el menor tropiezo, y con una facilidad sorprendente.

Otra campana parecida á ésta se ha usado en la construccion de un dique seco de carena en el puerto de Pola, para fabricar macizos de fábrica dentro de la campana. Tenia tambien su cámara de aire, su tubo y los medios de conducir á la campana los materiales necesarios á la construccion de los silllares (1).

253. Objeciones al sistema.—Las objeciones contra el sistema concertado están resumidas en el informe emitido por la Junta Consultiva de Caminos sobre el puerto de refugio en la costa de Asturias, cuyas conclusiones reproducimos aquí. 1.° Se dá en el informe por demostrado que con

(1) Véanse los apéndices.

las escolleras se alcanza la estabilidad en las obras, y que cuando así no sucede, no es culpa del sistema sino de errores de proyecto. 2.° Que las dificultades del sistema, aumentan el coste en mayor escala que la economía obtenida por la reduccion en los cubos de la obra. 3.° Que estas mismas dificultades hacen sumamente lenta la marcha de los trabajos, demostrando la experiencia en las obras de puertos, ser exagerada la comparacion que se ha hecho entre las operaciones dentro y fuera del agua. 4.° Por todas estas razones, demostradas con el ejemplo de Dover, ningun Ingeniero ha tratado de imitarlas, siendo general hoy la oposicion al sistema.

Principiaremos haciendo notar que son varios los procedimientos para la construccion de diques por el sistema concertado, y aunque resultase en la comparacion desfavorecido el usado en Dover, quedaban otros, con los cuales era necesario hacer la misma comparacion antes de decidirse de una manera exclusiva por las escolleras. Ha sido, ciertamente, un funesto acontecimiento para las obras de puertos, que se eligiese el dique de Dover para ensayo del sistema concertado; las condiciones de la obra, en extremo desfavorables, y los resultados debidos á ellas, iban indudablemente á achacarse al sistema, por los que no se han tomado el trabajo de estudiar lo acontecido en ellas.

No examinaremos la cuestion, que no es de este lugar, de si era conveniente invertir enormes sumas en crear un gran puerto en Dover, ni si las ventajas realizadas están en relacion con las sumas allí invertidas. Tampoco hacemos la crítica de la obra en sí, aunque salta á la vista que los enormes gruesos dados, así al conjunto como á los paramentos, pudieron rebajarse sin comprometer su estabilidad. No nos ocuparemos de si el empleo de sillares de hormigon, propuesto por Denisson, empleado más tarde en Alderney y hoy aceptado para la terminacion del dique, ó los formados artificialmente con ladrillo, propuesto por Rendel y aceptado por la Comision encargada de la informacion, ó si un relleno de escollera como en Alderney y en Jersey, ó mezclado con hormigon, como en Damaru, hubieran dado el mismo resultado que una obra ejecutada á todo coste y con un lujo supérfluo. Estos son defectos del proyecto, y un mal proyecto puede presentarse con cualquier sistema. Nadie se acuerda de que, con el encomiado por la Junta Consultiva de Caminos, se han malgastado en Alderney 133 millones de reales, y hoy se piensa seriamente en abandonar

las obras á los azares de una ruina inminente. Aceptamos el proyecto tal cual es, y diremos, que al adoptarlo, no se concibieron esperanzas de un coste moderado que más tarde salieran defraudadas; el presupuesto subió á la enorme suma de 500 millones de reales, reducido más tarde á 400; y la obra no lleva invertida la parte que proporcionalmente la corresponde. ¿Puede decirse otro tanto dé los rompeolas de escollera, de el de Plimouth, por ejemplo, que antes hemos citado? En Holyhead, con un presupuesto de 190 millones de reales, se gastaron 400. Portland subió de 50 millones á 116, y Alderney, calculado en 54.000 reales por metro lineal, costó 88.000. De manera, que al adoptar con preferencia al de la escollera el sistema concertado, ó no era aquel para Dover tan económico como se pretendia, ó las desventajas compensaban las diferencias del coste.

Recordemos ahora las circunstancias en que el dique debia construirse. La sillería para el revestimiento, con las condiciones de dureza impuestas, se encontraba, la más próxima, en las canteras de Portland y en las inmediaciones de Lees; pero la piedra traida del primer punto resultaba recargada con un trasporte por mar de 53 leguas, y la arenisca del segundo con 87; este solo enunciado es por sí suficiente para justificar, sin que otra causa intervenga, el elevado precio del dique. Tambien se deduce á qué enorme suma hubiera ascendido la obra si, con las condiciones impuestas, se hubiese proyectado de escollera; y ¡cosa singular!, la Junta Consultiva reprueba el sistema por caro, y los que esto afirman, sin duda ignoran que se adoptó en Dover por más barato. Citaremos dos autoridades que no rechazarán los defensores de las escolleras. Coode, partidario de este sistema, por creerlo más barato asegura que en Dover fué más económico levantar muros verticales desde el fondo, por la escasez de piedra. Stevenson, más contrario aún, en la informacion citada, al sistema concertado, confiesa que con buen cimiento ó escasez de piedra (y tal es el caso de Dover), debe aplicarse aquel sistema; haciendo notar que se expresaban así estos dos ingenieros, no antes de intentar la prueba, sino despues de llegar al estado en que hoy se encuentra. Se dirá que no deben emprenderse obras cuyo coste no está en relacion con la utilidad que prestan, en lo cual convenimos, aunque la observacion es igualmente aplicable á las escolleras; y es hacerse, lo repetimos, una ilusion muy grande, creer que con el empleo de aquellas, las obras de Dover hubieran resultado más económicas.

El informe antes citado, de la Junta Consultiva de Caminos, contiene otro error que creemos conveniente rebatir; se critica el empleo de sillares de hormigon como relleno de la obra (lo cual tampoco tiene que ver con el sistema); creemos, en efecto, que pudo adoptarse otro material más económico; y realmente se ha debido encontrar ventaja en sentar sillares, al reemplazar con ellos el relleno de hormigon en masa, que no exigia ni asiento, ni el trabajo de los buzos. Era difícil encontrar, en condiciones económicas, material á propósito para el relleno; los bancos de caliza blanda, de las inmediaciones, que á este objeto pudieran destinarse, eran tan escasos, y exigia su explotacion tan costosos trabajos, que es disculpable el haber apelado á los sillares artificiales.

Muchos ingenieros, que no han tenido ocasion de utilizar los servicios de los buzos, exageran las dificultades de ese género de trabajo en las obras hidráulicas. En el mayor número de ellas, el trabajo es de los más sencillos que el buzo puede desempeñar, y no es comparable al que exige la extraccion de los buques sumergidos, la voladura de rocas submarinas, limpia de bajos y otras maniobras de que debemos ocuparnos en el curso de estos estudios. En la construccion de los diques, el buzo se limita á guiar, hasta el punto de su asiento, el sillar que le baja suspendido desde arriba; y á desembragar la cadena ó las tenazas que lo sujetan; lo cual no es comparable á los trabajos de escavacion, á la apertura de barrenos y á las operaciones que exige la estraccion de un buque sumergido, por sí difíciles aunque se hiciesen en seco.

En comprobacion de lo que llevamos dicho, y para que se vea cuánto se ha exagerado lo que por este concepto subió el coste del dique de Dover, presentamos el siguiente dato: un buzo, en cuatro horas de trabajo asentaba, en aquella obra, ocho sillares de 3 metros cúbicos ó sean 24 metros cúbicos: en Porto los buzos cobraban á 4 reales por hora de trabajo, ademas de un jornal de 7 reales; resulta, pues, un coste de 23 reales por dia, y 46 tomando los dos buzos de la campana. Agregando el jornal de los que dan á las bombas, manejan la grua, etc., suponiéndoles un trabajo de 8 horas y un jornal de 8 reales ó sea 32 reales, tendremos, para los 24 metros cúbicos 78 reales de aumento en el asiento ó 5,17 reales por metro cúbico. Agregando á esto el coste de los aparatos, que evaluaremos exageradamente en 4 reales, no llega á 10 por metro cúbico, el aumento que resulta para el asiento. Es evidente que el anterior cálculo es

exagerado, porque la facilidad del trabajo debe aumentar extraordinariamente con el uso de la escafandra, como se demostró en otras construcciones; y tambien por haber supuesto el trabajo por campana y no por buzo, segun resulta del dato, en cuyo caso habria de reducirse la mitad el gasto. En efecto, no se comprende se invierta media hora en el asiento de un sillar, que es lo que resultaria del tipo supuesto.

Aplicando los precios pagados en el dique del Carril, todavia resulta mayor economía, por ser menores. En cambio en Brest, Marsella y Argel, los precios fueron mayores, pagándose al buzo 2,40 pesetas por hora de trabajo, y algo menos en Aberdeen. Iguales resultados se deducen de los trabajos por medio de buzos en Alderney, Dublin, Callao, Kustendjié y otros. En Alderney, los buzos con escafandra que, en el primer período de la obra sentaban al dia seis metros cúbicos de fábrica, llegaron á sentar once en el último; y ademas de este trabajo, abrian el cimiento en la escollera y la arreglaban al pié del dique como defensa; y es difícil encontrar obra en que el mar haya opuesto mayores dificultades.

El cálculo anterior, en el supuesto de sentar sillares de 3 metros cúbicos, habria de modificarse con sillares de mayor tamaño (como son los artificiales que ordinariamente se emplean), pues, no excediendo de 10 á 15 metros cúbicos, casi lo mismo cuesta el asiento por sillar: en cambio, habria que aumentar el coste si los sillares fuesen menores; pero en todos los casos, siempre el aumento de coste quedaria dentro de los límites racionalmente económicos de una obra. Si resultan gastos adicionales por las mayores precauciones que reclama el asiento debajo del agua, el aumento de trabajo y de coste con que se grava por ello, no llega á los que origina la elevacion de los materiales en la construccion de la torre de un faro, cuya altura no constituye una dificultad insuperable.

Aunque es muy subido el coste de las obras en Dover, comparándolo con el de otros diques de escollera, hay algunos cuyo precio, con relacion á la profundidad, alcanza cifras, como en Plymouth, que se acercan bastante á las de Dover. Ademas, no debemos tomar el coste inicial como elemento único de comparacion; la conservacion de la obra y las contínuas reparaciones que exige la reposicion de la escollera, son otro elemento muy digno de tenerse en cuenta [211].

Tambien se han exagerado las dificultades de trabajar con temporales; objecion aplicable igualmente á la construccion del dique con escolle-

ra; en casos tales, los trabajos se interrumpen, pero las interrupciones son más frecuentes, más largas, y por menores causas, en el último caso, porque la rompiente creada por la escollera impide el trabajo, cuando seria posible si aquel obstáculo no existiese: vimos [55] cuán rápidamente decrece la agitacion á medida que la profundidad aumenta. Los trabajos no sufrieron en Dover la menor interrupcion por los temporales; ni tampoco en la extraccion del Royal Georges, con 28 metros de agua. En cambio las corrientes molestaron bastante en uno y otro caso : en Terschelling la corriente de 4 metros azotaba á los buzos de tal suerte, que no podian resistir más de una hora dentro del agua. Otro obstáculo tan poderoso como el de las corrientes, es la falta de trasparencia del agua, que tanto molestó en Westminster y en Dover; al paso que en Alderney, Holyhead y Portland, en sitios más expuestos al embate de las olas, la trasparencia del agua permitió trabajar con menos dificultad. En las fundaciones del puente de Westminster se trabajó durante cuatro años y medio, con luz artificial, en medio de una agua cenagosa, al través de la cual no se distinguian los objetos á un metro de distancia.

La cuestion del trabajo debajo del agua, de los obstáculos con que se tropieza, las molestias que el buzo esperimenta y sus causas, orígen y remedios, no son de este lugar (1), correspondiendo á los procedimientos generales aplicados á las construcciones hidráulicas; solo diremos, que, sin duda por efecto del jornal excepcional que ganan, lo mismo en Aberdeen que en Brest, en el Carril, en Porto, y Navia, los operarios solicitaban ser destinados á este trabajo, habiendo muchos que ocupaban al dia dos tandas. En Aberdeen solian sentirse mal algunos principiantes, pero muy pronto se reponian. El buzo, en las obras de puertos, no trabaja á presiones que lleguen á las de las fundaciones por el aire comprimido; pero aunque igualasen ó excediesen, nuestros órganos respiratorios se amoldan á estos cambios cuando no son bruscos. Lo que más fatiga al buzo es la desigualdad de presion producida por el juego de las bombas, y por eso son preferibles los aparatos ingleses que tienen un número mayor de ellas, y más todavia el aparato Roquarol que permite al buzo respirar á una presion constante. Otro efecto, más moral que material, sobre el buzo, es el completo aislamiento del mundo exterior, y el silencio que reina en derredor

(1) Véase los apéndices.

suyo; pero la distraccion del trabajo, le hace pronto olvidar esta sensacion. Ademas, las últimas mejoras de los aparatos Deneyrouce, le permiten comunicar y conversar con los demas obreros que trabajan fuera del agua.

Otra consecuencia se deduce y es, que cuanto mayor sea la profundidad á que el buzo trabaje, menos influencia tendrán sobre él los temporales; y que la época más delicada para la obra, es precisamente cuando se vaya acercando al nivel del mar y origine rompientes encima de ella; resultado diametralmente opuesto á lo que ordinariamente se supone, exagerando las dificultades á medida que la profundidad crece.

De la ligera análisis hecha, resulta demostrado cuál es la verdadera causa del enorme precio á que en Dover han resultado las obras; debido más que al sistema, á las condiciones especiales de la obra respecto á materiales de construccion; repitiendo constantemente que por razon de esta falta de materiales, hubiera resultado enormemente más cara la escollera. No es esta la causa única que ha contribuido á exagerar el coste; una parte de las sumas absorbidas lo fueron por los trabajos de fundacion, y es sabido lo que un cimiento difícil absorbe en tiempo y dinero. A pesar de tantos obstáculos, la obra es escelente y no se ha notado en ella una sola grieta. No puede decirse lo mismo de Cherburgo, Argel, Plimouth, Alderney, Holyhead y tantas otras obras ya citadas repetidas veces.

La desventaja del sistema concertado, proviene de requerir un cimiento sólido, al paso que la escollera puede aplicarse con ventaja á fondos de grava, arena ó légamo; cuando esto no suceda, es preferible el sistema concertado, y un sistema misto en los demás casos.

Otra de las objeciones se refiere al tiempo invertido en la construccion; las mismas consideraciones relativas al coste son aplicables á la duracion de los trabajos. Conocemos un faro de tercer órden cuya construccion se prolongó durante dos años, porque fué necesario llevar la piedra embarcada de canteras distantes diez y seis leguas; y si bien en Dover se contaba con medios más poderosos de transporte, era la obra de proporciones tan gigantescas, que los medios habian de estar fuera de relacion con ellas. Por último, sabido es cuánto influye la cuestion de recursos en la marcha lenta ó rápida de una obra; y Dover, con un presupuesto exagerado, debia resentirse de las dificultades de dinero, y ver las obras paralizadas durante muchos años.

Si calculamos el volúmen de los muros de revestimiento, hasta la baja

mar, obtendremos para un calado de 13 metros, un volúmen de 143 metros cúbicos por metro lineal. Las 6 campanas de buzos, en un trabajo de ocho horas, dan el doble de aquella cifra; de manera que la parte que exige el auxilio de los buzos puede avanzar, si otros obstáculos no se oponen, á razon de 400 metros por año. El ejemplo del dique del Callao confirma este resultado; en aquella obra, con sillares de un volúmen próximamente igual al de Dover, se asentaban al dia de 225 á 250 metros cúbicos; que aplicado á la hipótesis anterior, da, con 200 dias de trabajo, de 320 á 350 metros lineales Los retrasos de la obra no provendrán, pues, de esta causa: el dique mismo de Dover confirma nuestros asertos. En los primeros tramos del dique, el relleno entre los muros se hacía con hormigon en masa, sustituido más tarde, como más espedito y económico, con sillares del mismo material; de manera, que todo el grueso del dique formaba una fábrica concertada. Si las supuestas dificultades originadas por ella existiesen, no habrian estendido el sistema á una parte considerable de la obra, abandonando el que les permitia salvar todas las dificultades.

Tambien, segun dejamos expuesto antes, incurren en un error los que suponen han trabajado en Dover buzos vestidos con la escafandra: aunque, como excepcion, se usaron estos aparatos, la campana de buzos trabajó en la mayor parte y más principal de la obra, ya á causa de los obstáculos opuestos por la violencia de las corrientes, ya por la predileccion que muchos ingenieros ingleses demuestran por las campanas.

La Junta Consultiva de Caminos, al asegurar que el ejemplo de Dover no tendria imitadores, desconoce los muchos diques construidos, en todo ó en parte, por el sistema concertado; al contrario de lo que predice, la tendencia de los ingenieros ingleses y sus esfuerzos, se dirigen á sustituir las escolleras con otros procedimientos de construccion basados en el asiento ordenado de los materiales. Las obras de puertos no son de tan poca monta que se multipliquen en los pocos años que van trascurridos, y sin embargo, son muchos los que tendremos ocasion de citar. El mismo ejemplo de Dover confirma cuanto dejamos dicho, y la doctrina que defendimos hace muchos años en contra de la Junta Consultiva de Caminos: hoy se van á continuar las obras, y nadie ha pensado en abandonar el sistema volviendo á las escolleras; la última modificacion que se introduce [252] es el uso de otro material, menos caro que la piedra traida de larga distancia.

En cuanto á la duracion de las obras y á la lentitud de los trabajos, no

citaremos á Cherburgo, Plymouth y otros puertos muy conocidos de los Ingenieros; limitándonos á ejemplos más recientes, tenemos á Portland y Holyhead, cuya construccion duró 29 años; Alderney 16; sin contar la reposicion de la parte destruida de la obra durante los temporales desde 1864 á 1875. Es cierto que la marcha de los trabajos en Dover ha sido mucho mas lenta, no por las dificultades de asiento, sino por las ya expuestas y por los largos períodos de tiempo en que la obra ha permanecido interrumpida. Ninguno de los diques antes citados le son comparables, por las circunstancias tan variables de materiales, dimensiones, calado, tiempo de trabajo y demas; siendo ilusorios los cálculos y deducciones fundados en el coste absoluto de las obras.

Esta observacion es tambien aplicable al argumento fundado en la construccion con escollera, de otros diques, casi en la misma época que Dover: la abundancia de piedra determinó en Portland, Holyhead y Braye la eleccion del sistema de escolleras, como la escasez en Dover del concertado. Rendel, autor del proyecto de Holyhead y el primer Ingeniero que dirigió las obras, se contó entre los más ardientes defensores de los paramentos verticales, y quien adujo en favor de ellos datos más curiosos y pruebas más concluyentes; pero añadia, que las circunstancias de una obra podian ser tales, que fuese más barato aplicar la escollera á pesar de sus inconvenientes. Bien conocida es de todos la historia de estas obras, así como de los motivos que hacian preferible el emplear en ellas escollera; además, segun la opinion de acreditados Ingenieros, el dique de Holyhead no es tampoco un modelo cuya imitacion se deba recomendar: y por último, las cabezas de este dique se han construido con paramentos verticales [251], sin duda para evitar los graves inconvenientes de las escolleras, con relacion al régimen del puerto y á la entrada y salida de los buques.

254. Comparacion del sistema concertado con el de escollera.—Rebatidas las objeciones que contra el sistema concertado se dirigen, fundándose en el ejemplo de Dover, nos ocuparemos de comparar ambos sistemas, tanto en lo relativo á la mayor seguridad de la construccion que cada uno ofrece, como en lo relativo á su coste.

No basta para darse cuenta del coste relativo de ambos sistemas, comparar el gasto inicial de establecimiento; es necesario además tener en cuenta la accion del mar sobre la obra y la resistencia que en cada caso opone. Rennie decia del rompeolas de Plymouth «que podia considerarse

»como estable si no sobrevenia una tempestad más fuerte que las conocidas; »pero que si dicha eventualidad ocurriese la obra se alteraria.» No es necesario para ello que ocurra una tempestad más fuerte, siendo suficiente, para alterar la estabilidad del dique, que el temporal lo ataque en distinta direccion.

Scott-Russell, citado como campeon decidido de las escolleras, critica á Alderney, Holyhead, Portland y otros diques menos conocidos, por la enorme masa de piedra que absorben y que no siempre se encuentra; califica de viciosa la disposicion de los materiales en las escolleras, que hace romper la ola y aumenta enormemente su fuerza contra la obra asentada sobre ella; fuerza incomparablemente mayor (son sus palabras), que la de una ola reflejada. Considera un paramento vertical, el más correcto en principio, y propone un sistema especial, que más adelante describiremos (1), en el cual la escollera no pasa de la profundidad en que las olas hacen sentir su accion; y por último, les atribuye el defecto de no servir de muelles.

Resulta, pues, de todo lo dicho, que [222] la accion sobre las escolleras es más enérgica que sobre las construcciones concertadas; y en cuanto á su resistencia, es superfluo insistir en comparar una construccion concertada, cuyas diferentes partes resisten simultáneamente por su trabazon, y en la cual los sillares se colocan en las mejores condiciones de asiento, con un macizo disgregado, cuyos elementos se encuentran en un equilibrio instable, cediendo al más leve impulso. Si el macizo de la escollera se compone de sillares artificiales, la forma paralelepípeda es á su vez la peor de las que pudieran elegirse; los sillares se apoyan solo por los ángulos y aristas, los vacíos que dejan son enormes, y solo despues que por los choques y roturas continuadas han perdido su forma, es cuando la obra adquiere alguna mayor estabilidad.

Las conclusiones del informe de la Junta Consultiva antes citado, vienen á reducirse á lo siguiente: ¿A qué innovar, cuando las escolleras ofrecen el modelo más perfecto de construccion submarina? Holyhead, Cherburgo. Plymouth, y Argel son obras que deben satisfacer al ingeniero más exigente. Si en otros diques el uso de las escolleras ha producido desastrosos resultados, ha sido por defectos de proyecto y no haberse tomado las precauciones necesarias. Esto no es exacto; no puede llamarse satisfactorio el

---

(1) Véase el capítulo XVI.

resultado obtenido en los diques de Argel, Cherburgo, Plymouth, destruidos repetidas veces, y que es dudoso hayan llegado á la estabilidad. Aun se sienten en Argel, durante los grandes temporales, chocar entre sí los sillares que forman el macizo.

En Plymouth fué necesario revestir lá escollera con un zampeado de gruesos sillares engrapados [223 y 224], á pesar de lo cual, treinta y tres años despues de darse por terminado el dique, decia de él el Capitan Vetch «que habia visto arrancados enormes sillares con las grapas que los sujeta»ban.» Añadiendo, «que no podia llamarse concluida la obra, la cual re»queriría aun un largo período y mucho dinero [223]».

De los diques de la costa de Irlanda, muchos fueron arrasados por completo y el resto parcialmente destruidos. Y ya que siempre se cita el ejemplo de Dover, hacemos notar que uno de los más ardientes defensores de las escolleras, confiesa que hubiera seguido aquella obra la misma suerte que las citadas, si se hubiese intentado en aquella localidad: y el remedio propuesto para Alderney, en la Sociedad de Ingenieros civiles de Inglaterra, consiste en llevar la fundacion á mayor profundidad de agua, y que esta sea tal, que las olas no rompan contra la obra.

Tampoco se puede admitir la seguridad de que, empleando las precauciones convenientes, no hay que concebir ningun temor por el resultado del empleo de la escollera. Semejante afirmacion se comprende tratándose de una construccion concertada; pero el carácter distintivo de las escolleras y lo que las recomienda, es precisamente la falta de precauciones; el ingeniero no dirige la construccion, se limita á suministrar al mar los materiales que aquel dispone á su antojo.

Uno de los inconvenientes más graves de las escolleras, consiste en la incertidumbre en que se está de la época en que han adquirido su asiento, para obtener la suficiente estabilidad, que permita sentar sobre ellas una construccion de fábrica. Conocidos son de todos los ingenieros las quiebras de las fábricas en los diques de Argel, Cherburgo, Plymouth y otros de los más nombrados; y nos contentaremos con referir aquí la historia de los destrozos sobrevenidos en Braye, obra menos conocida que las citadas; destrozos tan graves, que se pensó por el gobierno inglés en el abandono de las obras, despues de invertida en ellas la enorme suma de 133 millones de reales.

Muy poco diremos de los destrozos causados en la obra durante la cons-

truccion, hasta su terminacion en 1864; aunque fué una parte destruida repetidas veces, en cuatro de ellas se causó el daño en la extremidad ó trozo no terminado de la obra, y cinco procedió de asientos desiguales en la fábrica por haber cedido la escollera sobre la cual descansaba. En Noviembre de 1863 el mar abrió en la muralla una brecha, que fué reparada inmediatamente. En uno de los temporales, una piedra lanzada contra la vía de servicio, cortó un trozo de 22 centímetros, de carril, pesando 37 kilógramos el metro lineal, sin doblar las barras y dejando limpios los cortes.

En un temporal del 13 y 14 de Enero de 1865, el mar rompió en dos puntos al través del dique, desde la coronacion hasta 8 metros debajo de la baja mar, quedando dividido en tres trozos por dos aberturas, una de 40 y otra de 15 metros. Además de estas brechas, que se estendian á todo el dique, causó en la fábrica, por la parte del mar, otra rotura que no se estendia á la escollera.

En 11 de Enero de 1866, tambien abrió el temporal otra brecha en el frente de la muralla que mira al mar, y en el siguiente mes se aumentó y penetró hasta el interior del puerto, quedando el espaldon suspendido como una bóveda sobre el vano. En 1867 solo sufrió, en Febrero, la pequeña avería de una brecha, permaneciendo invariable el resto del año.

En el temporal de 22 de Enero de 1868, fué destruido el dique en varios puntos; el principal de todos los daños, consistia en la brecha de 18 metros abierta desde la cima del dique hasta la baja mar. Reparado el daño durante el verano, otra brecha fué abierta en 28 de Diciembre, ensanchada en Febrero y Marzo del siguiente, con otras seis nuevas cerradas en aquel año.

El 8 de Enero de 1870, el temporal causó más destrozos en siete puntos del dique, cruzando la rotura, en dos de ellos, toda la muralla; siendo abierta de nuevo una, en Octubre, despues de cerradas aquellas durante el verano.

Tambien en el invierno de 1872 á 1873 sufrió más daños el rompeolas; entre otros, una brecha abierta cerca de su extremidad; y por último, en los años de 1874 y 1875 sobrevienen nuevas averías. Mientras esto sucedia en Alderney, en Dover no han sufrido las obras el menor percance, en el largo tiempo trascurrido desde la suspension de ellas.

El sistema concertado no exige, como las escolleras, piedras de grandes dimensiones, ni de extraordinaria dureza, especialmente para el

relleno, en el cual es posible aprovechar toda clase de materiales; ventaja de que participan igualmente, aunque en menor grado, las escolleras clasificadas [225]. Los materiales blandos, son susceptibles de suministrar un excelente relleno, y hasta de emplearse en los paramentos, cuando estos no sufran choques ó rozamientos. Por el contrario, en las escolleras sobre las cuales la mar rompe furiosamente y que ocasionan resacas terribles, aquellos materiales no resistirian un invierno. Lo mismo decimos de los morteros, en los cuales pueden entrar cales hidrálicas de inferior calidad [184].

Por último, si como hemos indicado y recomiendan todos los ingenieros, las cabezas se construyen formando paramentos verticales, la parte más importante de la construccion queda segregada, é influirá tanto más, en el gasto total, cuanto menor sea la longitud del dique.

Hemos discutido extensamente el caso de Dover, con objeto de desvanecer las prevenciones que dicha obra ha hecho nacer en el ánimo de muchos ingenieros; durante la informacion abierta, se hicieron pronósticos aterradores acerca del nuevo sistema, y no faltaron votos particulares entre los miembros de la Comision. Howard Douglas, y W. Symonds, calificaban la obra de impracticable, y como fracaso, los diques de Cherburgo y Argel, que despues de todo, nada tenian de comun con el nuevo sistema, así como los trozos de diques concertados, que fueron destruidos en varios puertos. Confundiendo las dificultades de construccion con los resultados en el régimen del puerto, consideraban imposible á un buque tomar el puerto con semejante obra, y predecian la inmediata destruccion del dique. Afortunadamente, ninguno de tan tristes vaticinios llegó á realizarse.

Entrando en el exámen de los demás sistemas conocidos de fundaciones debajo del agua, dijimos eran todos aplicables teóricamente, y se han aplicado todos sin excepcion en las obras marítimas, pero no á la construccion de los diques de abrigo. Dejando á los Ingenieros seguir en cada caso, los senderos ya trillados ó inventar otros nuevos, vamos sólo á dar aquí idea de los aplicados hasta el dia, y de la manera que lo fueron en las diversas obras.

255. Cajones sin fondo.—El sistema que mejor se presta á las construcciones en el mar, es el de cajones sin fondo, y no habria objecion fundada que oponerle, tenida en cuenta su sencillez, baratura y rapidez en la

ejecucion, si se lograse descartar los peligros que ofrece la descomposicion de los hormigones atacados por el agua del mar. Fué aplicado en Argel, con buen éxito, para obtener masas de 60 á 200 metros cúbicos. Nunca, en este sistema, se colocan contíguos los cajones; se construyen pilares aislados, y los intervalos que median entre cada dos de ellos, se llenan con hormigon, reemplazando las caras laterales de los pilares, dos de los tableros del cajon. Así se ha procedido en Argel, en Fiume, y en las demás obras á que se ha aplicado el sistema.

Los tableros se disponen, aunque más reforzados, en la forma que dijimos al tratar de la fabricacion de sillares de hormigon [239] y unidos entre sí, como aquellos, por charnelas y clavijas. Estas cajas (lám. 16.ª, figs. 1.ª y 2.ª) se arman en tierra sobre una grada, y se botan al agua sobre una basada, segun se practica con los buques. Cuando los cajones están armados sobre la grada, se recorta el fondo con arreglo á las sondas tomadas prévia-mente, á fin de que se aplique lo más exactamente posible al suelo. En Argel, los tableros se calafatearon y embrearon con sumo cuidado, precaucion inútil, y cuyo objeto no se comprende. Además, por mucho esmero que se ponga al recortar los cajones con arreglo al perfil del suelo, es imposible se consiga un ajuste perfecto. Para impedir que el hormigon se escape por los intersticios, se agrega al fondo del cajon una bolsa de lona fuerte, sujeta á los costados por medio de un liston ó barrote clavado á ellos, cuya bolsa los cubre por el exterior hasta 0,50 metros sobre la línea de flotacion. Este saco se amolda á las desigualdades del fondo, é impide al hormigon salir fuera del recinto. Tambien se embrea la lona, como medida de precaucion, medida más perjudicial que útil, porque impide la adherencia del hormigon al fondo.

El cajon se lleva flotando al sitio de su inmersion, se le suspende verticalmente, por medio de cabrias ; en esta posicion, se coloca el lastre, que consiste ordinariamente en balas ó lingotes encerrados en cajas sujetas al rededor del cajon. Estas cajas van suspendidas de cuerdas que pasan por anillas fijas en los costados del cajon.

Despues de colocados los cajones en su sitio, se toma ademas la precaucion de arriostrar los tableros. Las riostras están compuestas de dos montantes verticales, aplicados contra los costados de los tableros, y unidos por un cabecero con una caja, en la cual entra la espiga del montante; el resto de la caja, por la parte exterior, se llena con una cuña *A* que

aprieta el montante contra el tablero. Para mayor seguridad, el cabecero vuela, y sostiene su cabeza una tornapunta fija al montante. Las riostras y cepos sirven como armazon para sentar encima de ellos los andamios, sobre los cuales se colocan las cajas y demas aparatos, para llenar el cajon.

Cuando el hormigon ha fraguado, se quitan todas las uniones que ligan los tableros, se inclinan estos y con una barra terminada en bisél se golpea la pieza que sujeta la tela, arrancando los clavos: un buzo corta el sobrante de ella para utilizarla. Habria sido mejor sujetar de nuevo la tela por medio de cuerdas, que, soltándolas, se desprendiese del tablero. Tampoco hay necesidad de que la tela ocupe todo el fondo; basta una zona alrededor de los tableros, ligando con cuerdas los lados opuestos de ella, para mantenerla horizontal.

Generalmente, se dejaba un vacío de 2,50 metros de ancho entre cada dos macizos aislados, el cual se llena con hormigon, colocando dos tableros apoyados contra los dos pilares contíguos.

Si la profundidad fuese grande, las cajas deberan construirse con más solidez, y reforzadas. Podrian servir de refuerzos maderos horizontales colocados, por el lado exterior, á lo largo de los tableros, sostenidos por palomillas clavadas en la madera, y ensamblados los de un frente con los laterales, por medio de cuñas.

Los inconvenientes del sistema son bien conocidos; es muy difícil hacer el ajuste perfecto con el fondo, y los tableros casi nunca quedan útiles más de dos veces. El procedimiento es trabajoso cuando es grande la profundidad del agua, aunque pudiera modificarse en la siguiente forma. Un cajon de 4 metros de altura media, compuesto de varios tableros enlazados entre sí. Enrasado con la fábrica este cajon, un segundo asentado sobre el macizo del primero y formando un retablo; y continuando así, por escolones sucesivos, hasta llegar al nivel de la baja mar.

Tambien debemos hacer notar, que los trabajos peculiares de éste, como de los demas sistemas de cimentacion debajo del agua, se han facilitado mucho recientemente con el empleo de la escafandra, y con las notables mejoras que ha recibido este aparato.

256. Dique de carena de Argel. —Muchos de los inconvenientes del anterior sistema se han hecho desaparecer en el nuevo, empleado en la construccion de los diques de carena de Argel, aplicable más fácilmente todavia á los diques de abrigo. Consiste en igualar el fondo en la parte sobre la

cual deban asentarse los cajones, de manera que los largueros inferiores de los tableros se ajusten exatacmente al terreno sin necesidad de recortarlos; pudiendo así servir una caja repetidas veces. Igualado el fondo en esta parte, y colocados los cajones, se llenan de hormigon, formando dos filas de pilares que encierran todo el recinto del dique, y otros trasversales, si se quiere, sirviendo de contrafuertes y dividiendo todo el espacio en cajones, que se llenan despues con otros materiales más baratos. Los intervalos que median entre cada dos sillares, ó los entrepaños, se llenan, segun se ha dicho, apoyando dos tableros en dos pilares contíguos. Entremos ahora en pormenores relativos á la construccion de estas diferentes partes (lámina 16.ª, figs. 8.ª, 9.ª, 10.ª y 11.ª).

Los pilares tenian en Argel, en la coronacion, 4 metros por 5,60; á los paramentos se les daba un talud de 1/10, conservando verticales los costados y, por lo tanto, la base inferior habrá de tener el aumento de dimensiones que corresponda á aquel talud, segun la profundidad. Por eso se construyeron cajones para distintas profundidades, cuyas alturas eran respectivamente de 9, 10, 11 y 12 metros, con una alza de 1,25 metros para las intermedias.

Una vez señalado el sitio en donde debia levantarse el pilar, se fijaba sobre el fondo el punto más alto del contorno, y por él se deducian las dimensiones de la caja aplicable á aquella profundidad, el ancho del contorno del pilar y extension y altura del murete. Hecho esto, se arregla un cuadro de las dimensiones correspondientes á la parte exterior del mismo recinto (lám. 16.ª, figs. 8.ª, 9.ª, 10.ª y 11.ª), y por medio de cuerdas, se le hace bajar hasta la profundidad conveniente, nivelándolo para que se mantenga horizontal. El cuadro lleva, en la interseccion de los costados con el eje mayor, dos pértigas ó varas, de 10 á 11 metros de alto, que salen fuera del agua, y sirven para alinearla. Colocado el cuadro en esta posicion, se hacen correr barras de hierro (ordinariamente tres en cada cara del marco) cuyas barras pasan por anillas colocadas en la parte exterior del cuadro, sujetándolas por medio de clavijas; y con esto, queda apoyado el marco en el suelo, y pueden soltarse las cuerdas para colocar otro.

El cuadro lleva interiormente, al rededor del marco y á 0,015 metros de distancia, cuatro barras horizontales, paralelas respectivamente á los cuatro lados, formando así una ranura interior en todo su contorno. A la distancia de 0,50, metros y luego de 0,10 en 0,10, hay pernos ó clavijas, á los cua-

les se enganchan barras horizontales que llevan al efecto un ojo en cada extremidad. La separacion entre la ranura y esta barra, se determina por el grueso que convenga dar al murete segun la altura.

Se principia limpiando la arena y fango que cubre la roca del suelo; así como de los residuos que dejan los morteros *(laitances)* despues de fraguar. Cuando la roca queda al descubierto, se introducen en la ranura del cuadro formado por las barras horizontales, otras verticales de hierro, situadas á la distancia de un metro á metro y medio. Otras barras semejantes, se sujetan con bramantes, á la barra interior, y contra ambas filas se apoyan planchas de hierro de 2 metros de longitud y 0,70 de alto. La barra horizontal, que fija el paramento interior, se coloca á una distancia tal, que dé al murete un grueso igual al de su coronacion, con el aumento para los retallos de 0,10 metros por cada 0,70. Cuando quedan enrasados los primeros 0,70 metros de altura, se quitan las placas, las barras y varillas, y se corren estas 0,10, formando interiormente un retallo en el murete; y así se continúa sucesivamente hasta llegar á enrasar con el plano que corresponde al retallo inmediatamente superior al terreno. En la mezcla de este muro entraba un cemento muy enérgico (Vassy) para el pronto fraguado.

Construidos los muretes, se procede á la colocacion de las cajas. Estas (lám. 16.ª, figs. 3.ª, 4.ª y 5.ª) constan de cuatro tableros ordinarios, ligados á cuatro montantes, contra los cuales se apoyan, uniéndose luego dos á dos por medio de barras á distintas alturas, que se sujetan con tuercas. Para armar las cajas, se coloca tendido sobre la grada uno de los tableros mayores, y á sus lados verticalmente los dos menores: el cuarto tablero se suspende horizontalmente sobre los tres, por medio de un aparejo (lámina 16.ª, fig. 6.ª); se ajustan los largueros de los ángulos, se pasan las barras, se aprietan las tuercas, y la caja queda armada. Despues se forran con lona embreada los ángulos, la línea de flotacion y la parte inferior, y se bota al agua en la forma ordinaria de los buques. Un remolcador, provisto de una grua, transporta el cajon armado hasta el sitio del dique, y allí, un segundo ponton con su cábria, lo coge por el lado opuesto y lo sumerje verticalmente, cargándolo, á medida de su inmersion, con filas de cajones llenos de lingotes. Las cajas llevan dos miras, para poderlas colocar en la posicion conveniente.

Encima de los cajones se instalan (lám. 16.ª, fig. 3.ª) los andamios con

los tornos, que sostienen las cajas para sumergir el hormigon. A los cuatro ó cinco dias ya se pueden quitar las barras, y á los diez ó quince los tableros: para conseguirlo, se aflojan las tuercas por las dos extremidades, y los tableros, despues de deslastrados, se separan fácilmente, tirando de ellos por medio de un aparejo. Las tuercas las soltaban en Argel buzos ordinarios, sin escafandra. Los pernos ó barras de las filas inferiores y medias que ban enterrados en la fábrica del pilar, pero se aprovechan los de la superior.

Para las bases de los entrepaños se sustituye el cuadro por una vigueta con su barra, formando ranura, la cual se apoya contra los retallos de los pilares. Más atrás. y en la misma forma, se apoya la barra que ha de servir de sosten á los montantes y á las placas interiores del encofrado.

El murete se construye como para los pilares : los tableros, suspendidos de las gabarras, se apoyan por uno y otro lado contra dos pilares contíguos, pasando las filas de barras á medida que se sumergen los dos á la vez. Cuando llegan al fondo, á tocar con el murete, se aprietan las tuercas y queda armado el cajon. Se toma la precaucion de dejar resaltos en las caras laterales de los pilares, para trabar mejor la nueva fábrica con la antigua.

Tambien hubiera podido aplicarse á este sistema de construccion los sacos de hormigon, segun se practicó en el fuerte Boyardo para el cimiento [245], facilitando la construccion de los muretes sin tanta complicacion.

257. Conos de Cherburgo.—Los célebres conos de Cessart, en Cherburgo, son otro ejemplo notable de este género de construccion. Cessart quiso abrigar aquella rada por medio de un rompeolas, y consideraba suficiente defensa contra la agitacion del mar, establecer una línea de 90 conos de madera, rellenos de piedra en seco, en contacto por sus bases inferiores. Las dimensiones de los conos eran las siguientes: las bases tenian 19,50 y 48,72 metros de diámetro, y 19,50 á 23,40 de alto, segun la profundidad, elevándose 9,10 sobre la baja mar, y dejando en la parte superior intervalos de 23,40 metros, entre los cuales pasaban las olas, quebrándose y dividiéndose. Estos intervalos debian, en tiempo de guerra, cerrarse por medio de cadenas, á usanza de los puertos antiguos.

La inclinacion de 60° dada á las generatrices de los conos, se determinó experimentalmente por la condicion de que la presion interior no ex-

cediese de 30 kilógramos por metro cuadrado, y, para más seguridad, la parte inferior de la caja se la sujetaba exteriormente con escollera.

La caja de un cono se componia de 90 montantes con la inclinacion señalada antes. Estos montantes estaban ligados por 30 carreras de cepos circulares, ya dobles, ya sencillos, y revestido el armazon interiormente con un entablonado doble. Para construirlo, se trazaron sobre la montea dos círculos, uno interior y otro exterior, marcando en ellos con pilotes, cuyas cabezas se enceparon, el sitio de los montantes. Alrededor del círculo exterior se montaron 18 cábrias de 10 metros de altura, y por medio de ellas se colocaban las piezas inferiores de los montantes, apuntalándolas provisionalmente con otras en direccion normal á la superficie del cono, apoyadas contra el círculo interior. En esta disposicion se enceparon, sujetando unos con otros por medio de herrajes, y, despues de sujetos, se quitaron las tornapuntas, y con ellas se prolongaron los montantes.

Descansando en la primera carrera de cepos, se montaron gruas ó cábrias, sobre rodillos, apoyando el pié en los cepos, y lo demás de ellas contra los montantes, por medio de tornapuntas, dándolas una estabilidad completa. Despues de colocada esta segunda fila de montantes, y despues de encepados, se elevan las gruas á otros cepos superiores, y así se continúa hasta llegar á la coronacion del cono. Desde la altura que corresponde á la baja mar se dejan abiertas portas, para arrojar por ellas al interior el relleno de escollera. En cada cono entraban 813 metros cúbicos de madera y 44 toneladas de hierro.

Terminada la construccion del cono, se procedia á colocar los flotadores que lo habian de suspender en el agua. Los flotadores consisten en toneles ordenados en dos filas, una exterior y otra interior: para sostenerlos, se ligaban con cuerdas á unos toginos clavados á los cepos. Para evitar al sumergirse el cono, el choque de los toneles contra las paredes interiores, se apoyan contra unas guias ó para-choques, á lo largo de los cuales deslizan. El choque del agua, al sumergirse el cajon, tendia á separar las piezas, y para impedirlo se atirantó el fondo con aparejos que cruzan la base del cono; y á fin de que el peso de los aparejos no los hundiera, se han amarrado á ellos toneles vacíos para suspenderlos.

A cada tonel del recinto corresponde una cuchilla, que corre entre dos guías, y cuyas cuerdas van á fijarse en la parte superior. Las cuchillas es-

tán lastradas, para el más rápido descenso, y cortan las cuerdas, chocando contra los toginos, á los cuales se arrollan aquellas.

Preparado un cajon para ser remolcado, la marea de agua viva lo ponia en flote; pero como la corriente de flujo tendie á llevarlo á la costa y hacerlo varar en ella, se dispusieron aparejos para arrastrarlo hasta una agua profunda, en donde los remolcadores lo cogian y lo llevaban al punto de inmersion, la cual se practicaba en la baja mar. Para la inmersion se fondeaba el cono, se cortaban dos á dos, segun un diámetro, las amarras de los toneles hasta tocar en el fondo. El remolque se hacía por medio de cuerdas atadas á argollones fijos á dos cables, uno en la base y otro en la línea de flotacion. De este modo, el tiro podia aplicarse á voluntad en los puntos convenientes y en las condiciones más ventajosas.

Cuando el cajon estaba asentado y sujeta la base con escollera, se principiaba á cargarlo, arrojando piedra en el interior por las portas ó escotillas de los costados, distribuidas á distintas alturas desde la línea de baja mar. Cuando llegaba el relleno cerca de la base superior, se enrasaba con una capa de hormigon, para sujetar el macizo inferior de escollera.

De esta manera se colocaron hasta 18, de los 90 conos de que debia constar el dique: otros tres estaban ya preparados para lanzarlos, cuando la Revolucion francesa vino á paralizar las obras; los temporales destruyeron una gran parte de los construidos, renunciando el Gobierno francés á continuarlas bajo el primitivo sistema, sustituyendo los conos con un dique contínuo de escollera.

Nos hemos extendido en los detalles de esta obra, á pesar de su mal éxito, por ser, con el cajon construido por Grogniart para un dique de carena en Tolon, las dos obras de madera más gigantescas del siglo XVIII, teniendo en cuenta debieron llevarse á cabo con los limitados recursos de que entonces se disponia, y tambien, porque la idea es ingeniosa y hay en el fondo de ella algo útil, no siéndole imputable todo el fracaso. El abandono en que se dejaron las cajas sumergidas, privadas de la defensa de las que debian colocarse á su lado, tuvo una parte grande en la destruccion. Además, la resistencia y duracion estaban fiadas, no á la obra misma, sino á la envolvente de madera; y es claro, que en cuanto ésta dejara paso á las olas, la escollera que llenaba el interior, privada de su defensa, habria de ser arrastrada. Si en vez de un relleno de escollera se hubiese aplicado el hormigon, éste, aunque la envolvente fuese destruida, ofrecia por sí sufi-

ciente resistencia. El coste seria indudablemente mayor, pero ganaba la obra en solidez: en cambio, se podia economizar en la construccion del cajon, que no requeria entonces tan gran solidez, como en el caso de resistir por sí al embate de las olas. Tampoco habia necesidad de llenar todo el cono con hormigon; bastaba formar una envolvente exterior, y sustituir el relleno del interior con otra fábrica más barata, ya escollera, ya una mezcla de ambos materiales. Y por último, la madera que resistiera á los golpes de mar, no resistiria á la destruccion por el teredo ó la limnoria [190].

Algunos detalles debieron ser modificados: no se comprende, por ejemplo, por qué los toneles se colocaron en el fondo y no cerca de la línea de flotacion, lo cual hubiera facilitado la inmersion haciendo innecesarias las cuchillas. Todas las operaciones descritas para la inmersion, tan trabajosas en aquella época, hoy las facilitaria el empleo de la escafandra.

En Plymouth se propuso, y fué desechado, un sistema análogo, de masas interrumpidas de escollera. Nos parece, que así en aquella rada como en Cherburgo, el abrigo dado por estos trozos aislados de dique, hubiera sido suficiente.

258. Cajones con fondo.—El sistema no se ha aplicado realmente, que sepamos, en toda su pureza, á la construccion de diques: Walker, en la informacion inglesa sobre puertos de refugio, proponia este sistema para el dique de Dover. El cajon propuesto debia tener 91,50 metros de longitud y 30 de ancho, para construir en su interior un trozo de dique de seccion trasversal en forma de trapecio, cuyas bases, superior é inferior, habrian de ser de 9 y 21 metros respectivamente. Para acelerar el progreso de la obra y disminuir su masa, aquel ingeniero componia el dique con dos muros, unidos por contrafuertes, entre los cuales se volteaban bóvedas de hormigon. En las extremidades se dejaban retallos, para ligar los dos trozos contiguos por una masa de aquel material.

La descripcion de la obra basta para hacer su crítica, y reconocer la dificultad de construcciones de madera de tal magnitud, y la imposibilidad de que resistan á los enormes empujes á que están sometidas, por bien arriostrados que estuviesen los tableros del cajon: aplicado á Dover, se necesitaban tableros de 14 metros de altura por lo menos. Más racional que el anterior es el sistema propuesto por Bremmer (James) (lám. 16.ª, fig. 11.ª)

para la profundidad máxima de 14 metros, comprendiendo en ella la carrera de la marea. El cajon tiene 122 metros de largo, 30,50 de ancho y 13,70 de alto. El ancho está dividido trasversalmente en tres trozos longitudinales; el central *A* en donde se construye la obra, reducida á un solo paramento del dique, y los dos laterales *B* que sirven de flotadores: los tableros interiores de estos sirven para los exteriores del central.

Cuando se ha terminado la construccion, se separan las cajas laterales, y queda solo el fondo de la parte central. En la misma forma se construye el otro paramento, y el intervalo se rellena con el material de que se disponga. Este sistema permite dar al cajon menores dimensiones, pues solo necesita el poder de flotacion necesario para sostener la fábrica del paramento: además, la division del cajon en tres partes, facilita la construccion y el trasporte. No insistimos más, pues no habiéndose aplicado, no es posible entrar en detalles sobre las dificultades de la construccion y los medios de vencerlas.

259. Modificacion del sistema. —Pasamos á describir una modificacion del sistema, que consiste en formar el cajon con las paredes mismas del macizo. No falta quien pretenda que el sistema fué conocido de los romanos, y la opinion parece fundada, por más que Vitruvio guarde silencio sobre él, así como tampoco menciona el de escolleras [209]. Se apoya esta opinion en el exámen de algunos diques compuestos de pilares ó trozos interrumpidos [220]. El de Puzzolo, por ejemplo, conserva algunos en bastante buen estado, no solo para distinguir sus fábricas, sino tambien sus detalles. Los pilares se componen todos de una envolvente exterior de mampostería, asentados los sillares y trabados con puzzolana, y de un relleno de hormigon independiente de ella, que maciza y compone el resto del pilar. ¿Cómo se ha asentado la fábrica, si no se ha construido en tierra? Pensar en ataguías, es aún más inverosímil que suponer conociesen el sistema de componer una fábrica, que flotase sola ó con ayuda de flotadores. Suponiendo el fondo de fábrica, necesitarian los pilares, dado su peso y volúmen, un suplemento de flotacion de 100 á 300 toneladas; lo que es fácil dárselo con dos barcos de 80 á 180 toneladas de porte. Si para el fondo del cajon hicieron uso de un piso de madera, como modernamente Moffat, entonces el cajon de fábrica tiene, por sí solo, un exceso de 61 toneladas. Sería de desear un reconocimiento del fondo, para convertir en certeza lo que es hoy una mera probabilidad.

Esta se acrecienta con el estudio de los detalles de la obra: todos los pilares tienen por cada costado dos canes ó sillares, de 0,75 á 0,83 metros de seccion, salientes 1,20 á 1,80 metros del paramento: y en la coronacion, á plomo de estas ménsulas, se observan dos rebajos en la fábrica, como si estuviesen destinados á alojar piezas de madera. Tendiendo dos vigas sobre el pilar, las barcas ó flotadores quedaban sujetos con cuerdas á las traviesas y á los canes.

En la informacion inglesa para la construccion del dique de Dover, se propusieron tambien cajones huecos, construidos con ladrillo ó con hormigon, para llevarlos flotando al punto de su empleo, y sumergirlos allí cargándolos con escollera ú otro material más barato: de esta manera el cajon formaba parte de la misma construccion. Los diferentes trozos se ligaban despues entre sí, rellenando los espacios intermedios. Moffat los aplicó con buen éxito, en el puerto de Ardrossan, aumentando progresivamente la longitud de los cajones, desde 4,50 metros en los primeros, á 12 en los últimos; límite del cual no creyó prudente pasar. Resumiremos los procedimientos, sin concretarnos á construccion determinada.

Se principia, como en todas las variantes del sistema de cajones con fondo, por arreglar con escafandra el suelo sobre el cual se va á fundar la obra, reduciéndolo á una superficie horizontal. Generalmente se consigue esto con varias hiladas de sillares (en Ardrossan, tres) que elevan el fondo, reduciendo el calado, ó con una capa de escollera, despues de dragar, si el suelo es fango ó arena suelta.

El fondo del cajon no se construyó, en Ardrossan, de fábrica, como se propuso para Dover; unas veces para pequeños cajones (4,60 metros de longitud y altura, 3,40 ancho) se emplearon placas de fundicion de dos centímetros de grueso, reforzadas con nervios: otras veces, para cajones mayores (9 á 12 metros de longitud) se empleó más económicamente la madera. Se componia el piso de dos vigas de $0,27.^2$ de escuadría, á las cuales se clavaban trasversalmente listones de 8 centímetros, perfectamente calafateados para hacerlo impermeable. Los cajones pueden construirse sobre talleres establecidos en la playa [241], de manera que queden flotando en la pleamar, despues de terminados: si la carrera de la marea fuese insuficiente para que flote, podrian aplicarse los variados sistemas de flotadores, algunos de los cuales hemos descrito [241]. Y por último, si queremos construir el cajon fuera del alcance del mar, ó si el

dique se destina á un mar sin mareas, entonces habrá de construirse sobre una grada y botarlo al agua como se practica con los buques. En Ardrossan facilitaba extraordinariamente la operacion, la existencia de un dique de carena, dentro del cual se construian en seco los cajones, haciendo entrar luego en él el agua despues de terminados.

A los paramentos de estos cajones se les da el grueso necesario (de 0,50 metros para la profundidad de 4); cuidando de ligar con tirantes de hierro las caras opuestas, en los pequeños, y en los mayores con tabiques divisorios dejando compartimientos de 2,50 á 3 metros. La fábrica que mejor se presta á la construccion de estos cajones es el ladrillo, cuidando de emplear en ella cementos muy enérgicos. La forma de los cajones es ordinariamente rectangular, pero puede adoptarse la que convenga, segun la forma del dique.

Cuando á los cajones se les dá una longitud excesiva, conviene asegurarlos de todas las maneras posibles. Para hacer solidarias todas las partes, se coloca al través, en la superior, una vigueta, que se une al fondo del cajon, por medio de dos husillos de 0,05 metros de diámetro y de otra vigueta. Además de este objeto, sirve el aparato para mantener el cajon suspendido de una grua, ínterin se le alínea con los demás y se coloca el relleno. Terminada esta operacion, se aflojan los husillos, se quitan las traviesas y se deja caer el cajon al fondo. Los tres sillares, dispuestos en dos filas, forman el paramento de la obra: el interior se rellenó, en Ardrossan, con hormigon. La obra subsiste desde 1855 en perfecto estado.

Este sistema exige en su aplicacion un arreglo prévio del fondo, que complica la operacion, quitándole una parte de sus ventajas; y este arreglo lo es tanto más necesario, cuanto mayor extension se dé á los cajones. Si el fondo es arena ó fango, el peso de la construccion y los asientos debidos á él bastan para igualarlo, ó, á lo sumo, solo hay necesidad de extender una delgada capa de escollera. En otro caso, habrá de igualarse con ella ó con otra fábrica, segun se practicó en el puerto de Ardrossan.

De usar cajones con fondo, son innegables las ventajas que el sistema modificado lleva al primitivo, por la supresion de los enormes cajones de madera, cuyo volúmen, la esmerada construccion que se exige en ellos para hacerlos impermeables, la complicacion de las operaciones durante la inmersion, y la separacion de los tableros, lo convierten en caro y difícil.

La combinacion de los dos sistemas, del primitivo y del modificado, podria aplicarse útilmente, ayudando á éste con flotadores ó cajones asegurados á los costados, para dar á la masa de fábrica el complemento de flotacion que fuese necesario, segun se pretende lo practicaban los romanos.

Jonhson propuso, en 1843, á la comision inglesa sobre naufragios, un sistema parecido, aplicando el hierro. El dique se componia de una série de pilares aislados, formados por cajones cuyo fondo, como en Ardrossan, era de madera, y de planchas de fundicion, cosidas entre sí (y lo mismo pudieran ser de chapa de hierro). Se conducian flotando al sitio que debian ocupar, y se llenaban con hormigon. A fin de que no se moviesen, y de terminar fácilmente la operacion, se ajustaban al macizo lateralmente tubos, por los cuales se pasaban pilotes que servian de guias, á medida que el cajon bajaba con la carga. Estos pilotes podian dejarse en la obra, ó arrancarse despues de terminada la operacion.

260. Guías.—En el dique Alberto, construido en Greenock (lám. 16.ª, figs. 13.ª á 21.ª), se apeló á otro procedimiento, que se ha propuesto tambien para la construccion del dique del Oeste en el nuevo puerto de Cádiz. La obra de Greenock tenia 915 metros de longitud, 18,30 de ancho y 9,60 de altura, aunque para la parte sumergida en la baja mar, solo debia contarse con la profundidad de 4,60 metros.

Hé aquí la marcha seguida en la construccion de este dique. Se principió dragando el terreno en toda la extension que comprendian los dos paramentos (lám. 16.ª, fig. 13.ª), formando dos zanjas paralelas de un metro de profundidad y 6 de ancho cada una. En la extension del trozo de dique en construccion, se levantó un andamio, por encima del cual corrian las gruas y martinetes (lám. 16.ª, fig. 15.ª y 16.ª). Se principió clavando con ayuda del andamio, los pilotes de hierro, cuya forma es la de una doble T. Es necesario clavar estos pilotes con gran exactitud, y con la inclinacion señalada á los paramentos: para conseguirlo, el martinete, montado sobre ruedas, lleva unas guías, formadas por dos largos brazos, que dejan una ranura, entre los cuales pasa el pilote cuando se le golpea para la hinca. Estos pilares distan entre sí 2 metros, aunque en trozos construidos posteriormente la distancia llegó á 5, y el Ingeniero Miller se proponia separarlos más todavía, por la combinacion de los aparejos de las piedras del paramento (lám. 16.ª, figs. 18.ª á 21.ª). Las dos filas de pilotes de hierro se arriostran con una de tirantes, que van de un paramento á otro, cruzando el

dique de parte á parte, cuyos tirantes quedan despues enterrados en la fábrica. Este fué el órden de los trabajos.

Se principia dragando el terreno en el sitio en que se han de clavar los pilotes; clavados éstos, segun se ha dicho, y asegurados con los tirantes, se sujetan, rellenando las zanjas con una capa de hormigon de 10 metros de ancho cada una, que se apisona y arregla hasta dejarla horizontal. Cuando el terreno es desigual y flojo, se principia hincando pilotes de madera, que luego se empalman con los de hierro, y se consolida el terreno con pilotes intermedios.

El andamio se deshace á medida que se van clavando los pilotes, prolongándolo á lo largo del dique en construccion; y sobre los pilotes de hierro clavados se establece otro más sencillo, á la altura del anterior, compuesto de piés derechos y tornapuntas. Hecho esto, se principia por construir uno de los paramentos, conduciendo los sillares por las vías de carriles establecidas sobre el andamio y que se hacian bajar luego guiados por los dos pilotes más próximos, deslizándose á lo largo de éstos por las cajas ó ranuras que el pilote ó los sillares llevaban (lám. 16.ª, figs. 18.ª y 19.ª). Las diversas disposiciones adoptadas para las guías y aparejos aplicados ó propuestos, han sido sucesivamente modificadas. La primitiva fué desechada más tarde, porque dejaba al descubierto el hierro de los pilotes, y expuesto á la destruccion por el agua del mar. En esta disposicion, los sillares corrian por las ranuras de la doble T, pero en la continuacion de la obra, se adoptó la disposicion contraria, llevando el sillar la ranura. Cuando la piedra es blanda, es fácil abrir en el centro una caja (lám. 16.ª, figs. 19.ª y 21.ª) cortando los costados del sillar en bisel, cola de milano, ó bajo cualquier forma especial, que deje entrantes y salientes donde se alojen, en forma de clave, otros sillares intermedios: otras veces, el sillar que envuelve el pilote, se divide en dos. En todos estos aparejos, el espacio vacío que queda alrededor del pilote, se llena con mortero hidráulico muy enérgico, que corre y filtra al través de los lechos y juntas, dando trabazon á la fábrica. Todos estos aparejos, y otros que pueden inventarse, deben elegirse, segun la naturaleza, dimensiones de la piedra y distancia á que hayan de colocarse los pilotes: es evidente que, con las últimas disposiciones, la distancia entre los pilotes, á igualdad de soga en los sillares, podrá ser mayor.

A medida que se levantan los revestimientos, se construye detrás, con

hormigon, un muro que forma la parte resistente de la obra, enterrándose en él los tirantes de hierro que ligan los dos paramentos. La tranquilidad que se obtiene al abrigo del paramento construido, permite depositar el hormigon sin que éste sea desleido por el agua. Al mismo tiempo que el hormigon, se arroja detrás la piedra ó escollera que lo sostiene por este lado. La misma marcha se seguirá para construir el paramento y muro interiores, y entre los dos, á medida que se elevan los muros, se arroja el relleno, que consistia en cascajo y piedra menuda. Tambien el autor propone, cuando se quiera dar más solidez á la obra, interrumpir el relleno con capas horizontales de hormigon á diversas alturas.

Cuando se ha llegado de esta manera hasta las bajas mares, la obra se continúa, en la forma ordinaria, hasta la altura que deba alcanzar, estableciendo sobre las cabezas de los pilotes de hierro una hilada general de sillería que las ligue á todas.

Una modificacion poco feliz, aunque económica, ha propuesto el autor: reemplazar por sillares de hormigon los de piedra, con lo cual se pierden las dos ventajas principales del sistema; cual es, la de tener un paramento inatacable por las aguas del mar, é indestructible por su resistencia.

Contra este sistema se han dirigido las objeciones siguientes: 1.ª Que el revestimiento de sillería forma una capa delgada, sin trabazon con el resto del macizo. 2.ª Que el agua del mar destruirá el hierro, y la obra se vendrá á tierra, por falta de apoyo. 3.ª Que era más sencillo y preferible el empleo del hierro ó de la madera, para contener el hormigon hasta haber fraguado; y cuando esto se hubiese realizado, importaba poco la destruccion de la envolvente del macizo.

Es fácil contestar á estas objeciones; á la primera, diciendo: que el paramento no sufre ningun esfuerzo que tienda á separarlo del muro de hormigon; está, además, sostenido por los pilotes de hierro, y se pueden dejar tizones á los sillares, para ligarlos al muro de hormigon. En cuanto á la segunda, los tirantes y pilotes solo sirven durante la construccion y la consolidacion de la obra; terminada esta, los sillares forman parte del muro, y el hierro entra en la masa que constituye el relleno. Por otra parte, envuelto el hierro por el hormigon, no hay posibilidad de oxidacion; y, por último, la piedra no sirve solo para contener el hormigon hasta su consolidacion completa, sino para dejar en la obra un paramento inatacable por los choques de las olas y de los buques, ó por la accion quí-

mica de las aguas del mar, lo cual no puede conseguirse con el hormigon al descubierto. La objecion verdadera, que en concepto nuestro se puede oponer á este sistema, es, que en el actual estado de progreso de las construcciones submarinas, por medio de la escafandra, es menos complicado, y en el mayor número de casos más económico, sentar directamente los sillares del paramento con la ayuda de aquel aparato, que con los pilotes-guías, que exige losas de gran soga, ajustes exactos en las piedras del paramento, y un trabajo difícil en los sillares.

261. Sillares y aparejos especiales.—En la misma categoría entra el sistema del coronel Emy, y otros, que no son más que una variante del propuesto por Belidor, pero una variante que le da las condiciones de aplicacion de que este último carece. Todos se reducen á dar una forma especial ó una colocacion particular á los sillares, de manera que los de una hilada se alojen forzosamente en los de la hilada inferior. Belidor (lam. 17.ª, figs. 7.ª y 8.ª) proponia el empleo de prismas triangulares: asentados los *A* de la hilada inferior, los *B* de la misma hilada van á alojarse en los huecos que dejan intermedios. Pero esto da un lecho horizontal y tendremos la misma dificultad para colocar los de la hilada siguiente. Hubiera sido preferible usar sillares cuadrados, sentados de ángulo, en cuyo caso vendria á resultar un verdadero *opus reticulatum*.

Emy salvó la dificultad proponiendo para los prismas la forma exagonal (lám. 17.ª, fig. 10.ª y 11.ª), pues entonces siempre la hilada presenta los mismos entrantes y salientes, entre los cuales se alojan forzosamente los sillares de la hilada superior. A este aparejo se pueden dar dos disposiciones diferentes; la dificultad principal consiste en el asiento de la primera hilada, formada, en todo ó en parte, con prismas de la mitad de un exágono, cuyo asiento habrá de hacerse con la escafandra. Tampoco aparece demostrada la necesidad de que los prismas exagonales sean regulares; pueden tener las formas de las figuras 12.ª y 13.ª de la lámina 17.ª, que les dá más estabilidad. Denison propuso aplicar sillares de esta misma forma á las obras del dique de Dover. Tambien se han propuesto con igual objeto otras formas, como la que representa la figura 14.ª, lám. 17.ª.

Estas formas, aplicadas á sillares naturales, serán convenientes solo en casos rarísimos: el gran desperdicio de piedra en la labra, la dificultad de labrar exactamente iguales, sillares de formas complicadas, y lo trabajoso de la labra, se oponen á ello: solo es admisible, con sillares de hormigon,

como Emy y Denison pensaron aplicarlo. Hay, sin embargo, una forma, la más sencilla de todas, y que salva tambien todas las dificultades, haciendo el sistema de cómoda y económica aplicacion, lo mismo con sillares naturales, que con los artificiales. Consiste en usar sillares de forma rectangular, pero con las hiladas inclinadas en vez de horizontales (lám. 17.ª, figs. 15.ª 16.ª, y 17.ª; y láms. 18.ª, figs. 1.ª y 2.ª). Este sistema, usado en un dique ó espigon de Folkstone, lo propuso el mayor Askwith para Dover, y sirvió más tarde para la construccion de los diques de Kurrachee y Kustendjié.

Los lechos, segun queda dicho, son inclinados, con una pendiente tal, que permita á los sillares resbalar á lo largo de aquellos; en Folkstone se dió una inclinacion de 60°. La operacion es de las más sencillas; se principia por sentar con buzos la primera hilada; se instala en la extremidad de la construccion una cábria ó un torno, con los aparejos necesarios para manejar el sillar, que se deja resbalar hasta apoyarse contra el inmediato inferior.

Conviene dar á los lechos la menor inclinacion posible respecto de la horizontal, pues cuanto mayor sea, la componente normal que determina la presion sobre los lechos, será menor, y disminuye la estabilidad de la obra. Si la cabeza ha de terminar en un paramento vertical ó poco inclinado, es preferible para evitar las dificultades del aparejo, que la inclinacion de los lechos se acerque á ella, terminando la cabeza sin ningun aparejo especial. Aunque fuese indispensable el aparejo de la cabeza, es prudente tambien adoptar inclinaciones próximas á la vertical. En efecto, si determinamos el empuje sobre los sillares, veremos, que desde la horizontal hasta el ángulo de resbalamiento, el empuje crece; pero es negativo, hasta llegar á dicho ángulo, para el cual se anula. Desde aquí, el empuje sigue creciendo positivamente hasta un máximo, entre el ángulo del resbalamiento y su complemento, para disminuir desde allí hasta este último valor, en donde se anula de nuevo para continuar disminuyendo negativamente, y llegado al mínimo vuelve á crecer para ser cero en la vertical.

De lo que precede resulta: 1.° que no se puede dar á los lechos inclinaciones más pequeñas que las del ángulo de rozamiento, porque no resbalarian los sillares. 2.° Que, si las cabezas se han de aparejar, tampoco debe dárseles inclinaciones comprendidas entre aquel ángulo y su complemento, porque el empuje es con ellas superior á la resistencia. 3.° Que los únicos

ángulos, los admisibles para la inclinacion de los lechos, son los comprendidos entre la vertical y el complemento del ángulo de rozamiento.

Lo que precede se deduce no tomando en cuenta el tizon de los sillares de la cabeza, y suponiendo horizontales los lechos; los límites se pueden extender, y hasta destruir el empuje para cualquiera inclinacion, aumentando el tizon de los sillares, ó dando á los lechos una inclinacion hácia el interior del dique. Los cálculos son muy sencillos, aunque agenos á este lugar (1).

262. Diques de Kustendjié y Kurrachee.—Ya en el capítulo XIII describimos los talleres de la fabricacion de los sillares destinados á estos dos diques [239 y 240]. El de Kurrachee tiene próximamente 460 metros de largo, con una profundidad variable de 6 á 9 en baja mar. El cimiento se prepara, ya escavando el fondo cuando no llega el agua á la profundidad asignada de 7,30 metros, ya extendiendo una capa bien nivelada de escollera cuando excede de esta profundidad. La escollera se deja un año para asentar, y sobre ella se depositan con gruas (lám. 18.ª, figs. 1.ª y 2.ª) sillares de 27 toneladas de peso y de 3,66, 2,44 y 1,35 metros respectivamente en sus tres dimensiones.

A los sillares de las hiladas inferiores, se les da la forma que corresponde á la oblicuidad del fondo respecto de los lechos. Tiene el dique el mismo ancho que alto, correspondiendo dos sillares en el sentido trasversal ó sea 7,32 metros y tres en altura hasta las pleas mares.

Los sillares se transportan en carretones desde el taller al dique; allí una grua de gran potencia (lam. 18.ª, figs. 1.ª y 2.ª) los cogia asentándolos con muy poco trabajo. Esta grua, es del mismo género que la tantas veces descrita; esto es, una plataforma sostenida por un armazon de hierro que se apoya sobre un truck ó carreton montado sobre ocho ruedas. Componen la parte superior de este armazon dos vigas armadas, de hierro, ligadas por otras trasversales para dar fuerza y rigidez al sistema. Las vigas vuelan 9 metros, y sostienen el torno de suspension, con su carreton que ocupa todo el frente. El carreton lleva carriles en el sentido trasversal, de modo que puede el torno, con el sillar suspendido de él, colocarse á plomo del sitio de su asiento. Y por último, la misma máquina de vapor que mueve el torno, puesta en comunicacion con uno de los ejes del truck, sobre el cual des-

(1) Veánse las notas.

cansa, mueve tambien la grua. La máquina de vapor se sitúa en la parte posterior de la plataforma, para hacer contrapeso al sillar, y no bastando, se da la estabilidad necesaria al aparato, con un contrapeso adicional de 30 toneladas de agua.

Inmediatamente que se termina un trozo de dique, se establecen sobre los sillares ya sentados, dos filas de banquetas ó apoyos de fundicion, para recibir las traviesas que sostienen la vía destinada á avanzar la grua y á conducir los carretones con los sillares. Cuando llega uno de estos debajo de la grua, lo suspende el torno, y la máquina de vapor lo conduce al punto de su asiento.

La obra avanza con gran rapidez, limitando únicamente su desarrollo, el cimiento y la fabricacion de los sillares. Por término medio, se sientan diez sillares ó 120 metros cúbicos al dia; pero ha habido algunos en que, sin grande esfuerzo, se han sentado seis en una hora y cuarenta minutos, ó sea 42 metros cúbicos por hora, ó 330 en ocho horas de trabajo.

En Kustendjié se quiso prolongar 140 metros un pequeño dique (lámina 6.ª, fig. 6.ª), en una profundidad de 5 metros. La seccion del dique representa un trapecio de 8,40 metros de alto y cuyas bases tienen 3,66 y 5,50, respectivamente, la superior y la inferior.

El cimiento se forma con una masa de escollera arreglada en escalones inclinados hácia la costa, de manera que la base de los sillares inferiores se apoye contra ellos. Los sillares, por lo tanto, tenian todos la forma ordinaria, y de longitud suficiente para que uno solo ocupase todo el ancho del dique. La seccion trasversal era la misma en todos, 1,83 por 1,53, y los mayores pesaban 30 toneladas. Cuatro llenaban una hilada, siendo la inclinacion de los lechos con el horizonte de 47° 45′

El andamio es parecido á los embarcaderos descritos en el capítulo XI, para la piedra de grandes dimensiones [233]: ocupaba todo el ancho del dique, elevándose la plataforma que sostiene el torno, unos 8 metros sobre el piso. En el arranque del andamio, se estableció una placa giratoria. El asiento so practicaba en la forma siguiente: el carreton con el sillar, arrastrado por un torno fijo, corria por la vía lateral que le correspondia, hasta la extremidad del dique, ya construido, que servia de taller [239]. Aquí pasaba, por medio de un trasbordador, á la vía central, y por ella, otro torno fijo establecido sobre los últimos sillares sentados, lo llevaba al andamio encima de la placa giratoria y debajo del torno de suspension. Este

cogia al sillar por las barras, quedando por la colocacion oblicua de estas [24], en la posicion inclinada que debia tener en el asiento. Se cuidaba de dar préviamente al sillar, por medio de la placa giratoria, un giro de 90° para colocarlo paralelo al frente del dique. Apenas quedaba suspendido, se desarmaba el carreton, trasportándolo para armarlo detrás de los demás, que habian avanzado á llenar el puesto vacío.

Suspendido el sillar, el asiento se efectúa muy sencillamente, dejándolo descender suavemente y resbalar luego sobre el lecho inferior. Despues de sentado, se engancha en el anillo de las barras de suspension, una larga barra con un gancho en la extremidad, y un ojo en la opuesta, por el cual se atraviesa una palanca para destornillar las roscas de las tuercas, tirando luego de las barras para sacarlas. Cuando el asiento no es tan perfecto como se desea, se vuelven á atornillar las barras de suspension para levantar el sillar.

Lo más delicado de la operacion corresponde á los sillares de las hiladas inferiores: se toma la precaucion de hacer bajar horizontalmente á lo largo del lecho de asiento, un carril, prestando el servicio de una raedera, para barrer todas las piedras menudas que estorben. El buzo nivela luego á escuadra los escalones de la escollera que debia servir de asiento al sillar: y por último, se forra perfectamente el pié, para que la cara inferior apoye contra la escollera.

Antes de sentar la primera de estas capas ó lechos inclinados, fué necesario regularizar la cabeza del dique ya construido, que se iba á prolongar, convirtiendo su paramento, de vertical, en inclinado con la pendiente adoptada para los lechos. Esta obra se compone de un encofrado de madera de la forma del macizo, relleno con hormigon, es decir, una especie de prisma truncado, á cuya truncadura se dió la inclinacion convenida. Los tableros se sujetaron exteriormente, con barras-carriles, clavadas como si fuesen pilotes.

Una aplicacion de los lechos inclinados, poco feliz en concepto nuestro, se hizo en los diques de Cartagena. No se intentaba en esta obra construir un macizo concertado, sino revestir la escollera, como defensa contra los golpes de mar: la abundancia de piedra y la tranquilidad de la bahía, hacian excusado el revestimiento de sillares de hormigon, y de emplearlos, nada justifica la necesidad de sentarlos en la forma que se ha hecho. De sentarlos bajo un sistema concertado, habria sido preferible que la

construccion lo fuese, obteniendo, con igual trabajo, una obra más perfecta y mayor economía. Además, el enlace resulta inútil y acaso perjudicial, porque apoyándose los sillares en la escollera, el concierto desaparece al menor asiento de aquella, y el enlace se opone á que se amolde á las alteraciones que sufra, quedando el macizo dividido en dos partes que resisten aisladamente. No cabia, en aquella obra, otra alternativa que la de elegir entre los dos sistemas siguientes; un macizo de escollera como en Barcelona, Valencia, Alicante y demás puertos de la costa; ó, despues de un dragado para la extraccion del fango que cubre el suelo de la bahía, rellenar la zanja con escollera, elevándola á la altura conveniente para obtener el perfil más económico, y levantar encima un macizo, concertado en sus paramentos, con el relleno de escollera.

263. Observaciones generales sobre los sistemas.—Terminamos con esto lo relativo á la aplicacion de los sistemas concertados, á la construccion de los diques: la enumeracion de los ejemplos presentados, demuestra cuán poco acertada estuvo la Junta Consultiva de Caminos, al pronunciar su fallo condenatorio contra ellos, y al decidirse en favor de las escolleras. En oposicion en un todo con sus predicciones, la tendencia de los ingenieros ingleses es desechar el sistema de escolleras, que marca, desde los romanos, un retroceso en las construcciones de puertos, y acercarse en lo posible al sistema concertado. De todas las variantes de él, que hemos enumerado, el más sencillo de todos y el que primero se ocurre, es adoptar los procedimientos usados en las construcciones terrestres, valiéndose de operarios preparados convenientemente para trabajar debajo del agua, ya por medio de la campana de buzos ó por el sistema más perfecto de la escafandra. Es tan cómodo y tan expedito el empleo de los buzos, que los demás sistemas inventados para eludir la necesidad de valerse de estos operarios, los utilizan, sin embargo, como auxiliares.

La enorme cantidad de material que absorbe un dique, obliga á aplicar medios rápidos de construccion, y á facilitar el asiento de las fábricas, verificándolo por grandes masas; y de aquí el uso de sillares, no labrados en piedra sacada de las canteras, como en las construcciones terrestres, sino moldeados, fabricándolos artificialmente en masas, limitadas solo por la posibilidad de su manejo; y la combinacion con ellos, de aparatos bastante poderosos para moverlas. Como límite superior de lo que hasta el dia se ha alcanzado, está el muelle de Dublin, en el que se han sentado masas de

fábrica de 350 toneladas [253]. Siguen á este los diques de Brest, de Aberdeen y el muelle de Nueva-York, con sillares de mampostería, de hormigon, y masas de hormigon de 100 á 120 toneladas encerradas en sacos [253]. De este tipo, el descenso es ya rápido, siendo muy frecuente el empleo de masas de 10 á 30 toneladas, cuyo manejo es cómodo y sencillo relativamente á los demás citados.

Si el problema mecánico y técnico de la construccion se ha resuelto satisfactoriamente de varias maneras, con las poderosas máquinas y aparatos que dejamos descritos, no puede decirse lo haya sido siempre económicamente, cuando se traspasan ciertos límites de peso y de volúmen. El tipo general á que se amoldan casi todos los aparatos son: en los terrestres, la grua de doble movimiento, ya de madera ya de hierro; y este aparato, de un uso general en las obras públicas, en ninguna es susceptible de prestar mejores servicios que en la construccion de los diques. La vimos usada, así en los talleres de fabricacion de los sillares, como en el dique mismo para el asiento, aunque en éste suele ser más ventajoso y económico el mantenerla fija, convirtiéndola en un embarcadero.

Las gruas ó cabrias flotantes son del género de las denominadas Derrick, ó de aquellas cuyo modelo, ya sean de madera ó de hierro, lo vemos en las láminas 15.ª y 17.ª

La objecion más grave contra el sistema se refiere á los materiales; las grandes ventajas que ofrece el asiento de grandes masas, obliga á usar sillares artificiales, que hasta el dia solo han podido fabricarse económicamente con gangas calizas. Con estas gangas nunca hay la seguridad absoluta de su consistencia (capítulo X); solo dos, el cemento de Portland con sus análogos en la composicion y elaboracion (Portland francés, Boulogne, etc.) y la cal de Theil, han resistido en los ensayos de laboratorio y á las pruebas á que, en mar libre, se han hecho por órden del Gobierno francés, en los puertos de Brest y Cherburgo. De los demás, todos sin excepcion, hasta los más enérgicos y más acreditados, Medina, Parker, Vassy, y nuestro cemento de Iraeta (fábrica de Gurruchaga), ninguno resistió á la prueba, ni en masa ni en sillares fabricados en tierra y despues sumergidos.

Cuando en 1849 descubrió Vicat la descomposicion de los morteros hidraúlicos por el agua del mar, el pánico cundió entre los constructores, y todos los ingenieros se dedicaron á encontrar señales de alteracion en

las obras marítimas. Hoy se ha pasado al extremo opuesto de una ciega confianza: es cierto que los Ingenieros ingleses, en el Reino Unido y fuera de él, no emplean otra cal que el cemento de Portland: y aun de este, que no ha dado señales de descomposicion, no nos atreveríamos á aconsejar el uso sin algunas precauciones. ¿No seria preferible, aunque aumente algo el gasto, formar los paramentos con piedra, ya sea sillería, ya mampostería concertada? Entonces desaparece todo recelo, y el resto de los muros puede componerse de hormigon ó mampostería ordinaria. Y por último, cualquiera de los enlucidos descritos en el capítulo X ú otros que pudieran inventarse, serán un preservativo eficaz, y darán tranquilidad al ingeniero. Pero de todos modos, las investigaciones de los constructores de obras marítimas, deben dirigirse por este camino: la fabricacion por la vía seca presenta dificultades, pero sería la más segura, y si el procedimiento de Mr. Berard se montase económicamente, el problema quedaria resuelto.

No pretendemos, con ésto, proscribir en absoluto el uso de las cales, sino aconsejar la prudencia en obras tan delicadas. El remedio, por demás sencillo, de los enlucidos, influye muy poco en el gasto total, por elevado que sea su precio: si una débil película de carbonato calizo detiene, casi instantáneamente, la descomposicion, será completa la seguridad que se obtenga con algunos milímetros de grueso, ó por la penetracion, dentro de la masa, del preservativo.

De no usar los enlucidos ó pinturas, y emplear las cales sin precaucion ninguna, conviene dar la preferencia á los sillares de fábrica sobre los de hormigon. En efecto; la pequeña alteracion que el mortero de las juntas puede sufrir, no penetra en el interior de la masa [184]; los sillares conservan su asiento natural, siendo fácil reponer alguno que salga fuera de él: en último caso, vendria á resultar un revestimiento de fábrica, cuyos sillares de paramento se asientan en seco, como en Dover, Holyhead, Aberdeen y otros puertos antes citados; y siendo muy débil el esfuerzo de la ola contra un muro vertical, fundado á gran profundidad, resistirá la fábrica sin mortero, ó dará tiempo para repararlo, mientras que en el hormigon, el principio de descomposicion, una vez iniciado, se extiende rápidamente á toda la masa.

Despues de la sillería y mampostería, debe recomendarse el hormigon en sacos, que, con frecuencia, será preferible á aquellas fábricas, participando á la vez de sus ventajas y de las del hormigon; como éste, se amol-

dan á las desigualdades del terreno y forma una sola masa, y, como las primeras, se sientan por hiladas regulares. La principal ventaja, la que lo recomienda sobre el hormigon, es la seguridad que dá al constructor en lo relativo á la estabilidad de la obra [184]. La obra del Carril, construida con este material, nada deja que desear.

Sigue á este sistema, compitiendo con él en baratura, facilidad y rapidez en la construccion, el de cajones sin fondo, con las diversas variantes que explicamos en el lugar respectivo ; pero le son aplicables las observaciones relativas á la naturaleza de los materiales empleados, en mayor grado, si cabe, que á la fábrica con sillares artificiales; pues estos, cuando se sientan en la obra, han adquirido al aire libre un endurecimiento prévio; las reacciones están entonces, si no terminadas, muy adelantadas en el momento de la inmersion, y, por último, llevan un revestimiento de carbonato calizo que los preserva de la accion química de las aguas del mar. Asegurados contra esta eventualidad, siempre recomendaremos su aplicacion, por lo expedito y lo barato del sistema.

Despues de estos dos, se agrupan los sistemas de construccion que reclaman para los sillares formas particulares, ó un aparejo distinto del ordinario aplicado á los muros. El de hiladas inclinadas, es preferible en muchos casos, especialmente en los siguientes: 1.° Cuando se emplean sillares naturales sacados de las canteras (Folkstone). 2.° Cuando el asiento se practica haciendo resbalar los sillares sobre el lecho superior de la última hilada. Siempre que se hace uso de sillares artificiales, y estos se sientan por medio de gruas, no hay inconveniente en usar los prismas exagonales de Emy, ó las demás formas que hacen más fácil el asiento y dan mayor trabazon á la fábrica. Los lechos inclinados, que prestan una gran comodidad al asiento, porque resbalan sobre ellos los sillares y van, por sí, á colocarse en sus respectivos lugares, dan por resultado, en cambio, una construccion ménos estable.

El sistema de guias, aplicado en Greenock, salva el inconveniente relativo á la accion química del agua del mar sobre los morteros, pero lo consideramos de los ménos expeditos y de los más complicados, exige una exactitud rigorosa en el clavado de los pilotes de hierro; necesita piedras de mucha soga, y cortes difíciles en ellas, para no multiplicar el armazon de hierro. Pero de las dificultades ha de juzgarse por la aplicacion, y ésta, al parecer, le es favorable. Vencidas aquellas, el sistema es tan seguro

como cualquiera otro, de cuya opinion no participa la Junta Consultiva de Caminos, que lo rechaza, ignorando sin duda que lleva una duracion de más de doce años.

Solo resta el de cajones con fondo; el ménos aplicable, en nuestro concepto, el ménos seguro y el más caro para grandes calados. Parece, sin embargo, utilizable la variante del sistema, que consiste en construir en tierra grandes masas huecas de fábrica, que se lleven flotando al dique y se asienten cargándolas; ó que, si no pueden flotar, exijan flotadores de pequeño volúmen. De esta manera se pueden transportar y asentar fácilmente grandes masas.

Tales son; en resúmen, las reflexiones que nos sugiere el estudio de los sistemas descritos; todos ellos son aplicables y aplicados; las circunstancias locales decidirán en cada caso la eleccion.

264. Sistemas mistos.—Todos los sistemas concertados pueden combinarse y se han combinado con el de escolleras, para participar de las ventajas de ambos. El sistema de sillares artificiales se aplicó combinado, en Brest, en el Callao, y en las cabezas de Sunderland, Portland, Holyhead, Alderney, Tyne y Liorna, además de un gran número de muelles, como los de Marsella, Argel, Alejandría, Esmirna, etc.) El de encofrados se usó en Argel y en Fiume; y los diques de Kustendjié y Kurrachee, tienen una base de escollera. Esta combinacion, ofrece ventajas cuando hay piedra abundante, pero de pequeña dimension, ó cuando el fondo del puerto es un terreno flojo, insuficiente para resistir, sobre una pequeña base, el peso de la construccion. Se toma como profundidad mínima en estos diques, aquella en que las olas no rompen, y en los muelles, la que corresponde al calado máximo de los buques; es decir, que varía entre 5 y 10 metros, siendo el tipo más general, de 7 á 8. A pesar de esto, se toma la precaucion de dejar la escollera expuesta un año á la accion de las olas antes de principiar la construccion.

Esta se lleva á cabo por cualquiera de los sistemas explicados en este capítulo: cuando se usan sillares, se suele escusar la capa de hormigon que se extiende sobre la escollera, siempre que la fábrica arranca de las bajas mares [245]: entonces es preciso rellenar con piedra menuda las desigualdades de la escollera. Además de esta precaucion, se pasa una raedera que arrastre el ripio sobrante. En Marsella y en Argel se hizo uso de un sillar, de diez metros cúbicos en el primero, y de veinte en el segundo: en ambos se intentaba de construir un muro para servir de muelle,

y en Argel, para darle más estabilidad, se inclinó el plano de asiento hácia el interior, lo cual originó dificultades para el enrase, porque el sillar avanzaba inclinado en el sentido de la longitud del dique.

Cuando el fondo es de fango, conviene un dragado previo, para evitar los asientos de la obra despues de construida: así se practicó en el Callao, cuyo dique dió principio en 1870. Se dragó hasta encontrar terreno firme, rellenando la zanja con escollera y elevándola á 8 metros por debajo del nivel de las bajas mares. De dicha profundidad, á la coronacion, se levantó la obra con sillares artificiales de 10 toneladas de peso y un volúmen de 3,63 metros cúbicos. El asiento se hacía por medio de gruas, colocando en obra de 60 á 70 sillares diariamente; ó de 220 á 250 metros cúbicos. La carrera de la marea es muy pequeña en aquel puerto, y no excede de 1,50 metros.

En Fiume se construyó un dique combinando la escollera con los cajones sin fondo, en la forma ordinaria [260]: tenian 9,50 metros de largo, 7,20 de ancho y 7,30 de altura. Se dejaron claros de 5,70 metros, que despues se rellenaban con hormigon, aplicando tableros á los pilares ya construidos.

Tales son los procedimientos de construccion aplicados á los diques; todavía tendremos ocasion de detallar, en otros capítulos, los usados en varias construcciones marítimas, más delicadas, si no de la importancia y magnitud de los diques.

265. Diques de entrada.—Otros diques hay que no tienen por objeto el abrigo del puerto, sino el formar la canal de entrada, y sirven principalmente para establecer la comunicacion entre la costa y la boca del puerto; diques llamados *jetées* por los franceses y *pier* y *jetty* por los ingleses, careciendo en España de un nombre especial que los distinga de los otros. Estos necesitan ordinariamente menor seccion, y la profundidad del agua es tambien menor, quedando en seco con mucha frecuencia, en todo ó en parte. Los sistemas de construccion descritos, y los ordinarios, son aplicables á estos, todavia más facilmente que á los diques de abrigo.

En estos diques se han invertido toda clase de materiales, hasta los enfaginados. Las figuras 3.ª, 4.ª y 5.ª de la lámina 18.ª, representan la seccion y el detalle de los enfaginados en el dique del Norte, en la desembocadura del Mosa; prueba evidente que no hay material, por malo que sea, que, aplicado con inteligencia, no sea utilizable en las construcciones más colosales.

CAPÍTULO XVI.

DIQUES DE MADERA.—METÁLICOS.—FLOTANTES.

RESUMEN.

Diques de madera.

266. Aplicaciones de los diques de madera y su composicion.—Los diques de madera suelen destinarse, como provisionales, á los mismos usos que los anteriores, pero generalmente se emplean cuando se quiere dejar intervalos ó aberturas que mantengan la agitacion en el interior del puerto y no interrumpan el paso á las corrientes. Y por último, sirven tambien de puente ó tránsito, en los diques de entrada, para ganar un punto en la boca, para prestar auxilio, desde allí, á los buques que lleguen en demanda del puerto, y sirgarlo por el dique hasta el interior. En algunas ocasiones, como sucede en las rias, prestan los dos servicios á la vez.

Cuando se usan como diques de abrigo, forman la envolvente exterior de la obra, encerrando dentro escollera, guijarros y hasta grava y arena. Cuando son diques de ingreso *(jetées)*, y no llenan otro objeto que el de

poner en comunicacion la costa con el punto peligroso de la entrada, son verdaderos puentes, y aplicables todos los sistemas conocidos, así de madera como de hierro. El más económico de todos, casi siempre el más fácil de establecer y el más generalmente aplicado, es el de cuchillos ó palizadas situados á pequeña distancia, cubriendo los tramos con maderos ó traviesas que se apoyan en los dos contiguos. En los diques de claraboya este es el único aplicable.

En cualquiera de los sistemas de puentes que se adopte, los apoyos, si son de madera, pueden estar compuestos, ya de piezas enterizas ó pilotes que se claven en el terreno, si este lo permite, ya divididas en dos que se empalman formando bajas y altas palizadas. Las ventajas de este sistema son las mismas que en los puentes análogos sobre los rios. La exposicion de las maderas, alternativamente en seco y cubiertas por el agua del mar, hace que se destruyan con más rápidez que las constantemente sumergidas, y no podrian ser repuestas tan fácilmente como si la obra estuviese dividida en dos partes.

Las bajas palizadas (láms. 18.ª y 19.ª) están, por regla general, compuestas de pilotes clavados en el terreno, y encepados al nivel de las bajas mares de mareas vivas, formando un emparrillado sobre el cual se apoyan las altas palizadas. La distancia entre los pilotes es de 2 á 3 metros, y á veces menor, si ha de ser muy resistente el dique. Las aguas, que tienden á formar remolinos y á socavar el pié de los pilotes clavados, llegan á profundizar de 0,60 á 0,80 metros en una sola marea. Por eso se defiende el pié de los pilotes, unas veces, como en Dunkerke, extendiendo capas de faginas y clavando el pilotaje al través de ellas; otras, como en los diques del Adour (lám. 19.ª), escollera.

Los montantes en forma de trapecio (lám. 18.ª, fig. 10.ª), se apoyan sobre los pilotes sujetos en cada palizada por cepos, y sostenidos por tornapuntas, que van á apoyarse en pilotes por la parte opuesta á la canal, ó cuando forman un dique de abrigo: los cuchillos se ligan unos con otros por piezas horizontales. La inclinacion de los lados exteriores del trapecio varían entre 1/3 y 1/7.

Los ensamblajes deben ser de los más sencillos, para poder armar y desarmar fácilmente los cuchillos: ordinariamente son á junta plana, ó á lo sumo, se les hace alguna barbilla, uniendo las piezas con pasadores ó abrazaderas de hierro. Las maderas están embreadas para preservarlas me-

jor de la destruccion, pero en los puertos en que exista el teredo, no basta semejante precaucion, y seria indispensable el uso de la creosota en gran cantidad, especialmente para las piezas que, debiendo estar constantemente sumergidas, no es fácil la limpieza.

Las palizadas se colocan en la forma explicada al tratar de los andamios destinados á la construccion de los diques de fábrica: despues de clavados los pilotes, encepados y cortadas las cabezas, se toma la altura de los cuchillos para recortarlos sobre la montea. Ordinariamente se arman en tierra y se conducen flotando hasta el pié del último cuchillo armado, en donde se suspende de una grua establecida en la extremidad del dique: así suspendido, se coloca en su sitio y se sujeta al cuchillo anterior. De este modo se han armado los diques de Boulogne y de Dunkerke: generalmente se colocaba un cuchillo en una marea.

Encima de los cepos que unen las cabezas de los montantes, se apoyan largueros que sostienen un entablonado del piso (lám. 18.ª, figs. 13.ª y 14.ª) con intervalos de 2 á 3 centímetros, para dejar paso á las aguas que las olas arrojan. Las figuras dan idea de dos disposiciones adoptadas, en uno de los diques de Dunkerke y en Ostende.

267. Encofrados.—Los diques de madera macizos, sirven de encofrado para encerrar dentro un material, que de otro modo no hubiera sido posible utilizar (lám. 18.ª fig. 6.ª). Su esqueleto es el mismo que el de los demás diques de madera, pero llevan un entablonado compuesto de maderos horizontales que se apoyan en los montantes. El entablonado suele colocarse interior ó exteriormente: interiormente resiste mejor el empuje del relleno, aunque ménos bien el de las olas, en la parte que mira al mar. El inconveniente principal de un entablonado interior, es la dificultad de reponer un tablon cuando se rompa; y como el empuje del relleno es pequeño, especialmente cuando el macizo es escollera, se colocan por regla general exteriormente: así resisten mejor al empuje de las olas, y los tablones deteriorados se reponen fácilmente. El mejor sistema, sería hacer que las juntas correspondiesen encima de los montantes, y de esta suerte, se cubrian con uno ó varios maderos, acoplados al montante por medio de herrajes. Cuando se quiere reparar el dique, se levantan los largueros, se reponen los tablones deteriorados, y se vuelven á ajustar los maderos y herrajes.

En cuanto á la manera de armarlos, se procede en igual forma que pa-

ra los diques de claraboya. Se clavan las bajas palizadas, se colocan encima los cuchillos armados, dividiéndolos, si la altura fuese grande, en varios tramos ó pisos, se arriostran longitudinalmente, se coloca el entablonado y se rellena con la piedra, grava ó escollera.

268. Combinacion de los dos sistemas.—A veces se combinan los dos sistemas, levantando primero el encofrado, y sobre él el dique de claraboya. Otras veces el encofrado se sustituye con otra fábrica, ya sea faginas, ya escollera, ya otra más sólida todavía. En Cassis se usó la escollera revestida con sillarejo; el macizo se eleva por el lado del mar, hasta las pleas mares de mareas muertas, y la construccion de madera ocupa el lado del canal. En Dunkerque llega la fábrica á la media marea, con un relleno de enfaginado y el revestido de sillarejo. En el dique del Oeste de Boulogne, se usó tambien hasta la plea de marca muerta, escollera revestida, y el dique de madera se asienta sobre ella.

La conservacion es muy costosa en los diques de madera, y corta su duracion, particularmente en puertos infestados por el teredo ó la limnoria, cuando la madera no ha sido inyectada con una fuerte dosis de creosota: por esta causa, solo se usa ordinariamente en construcciones provisionales y en sustitucion del hierro.

La madera es de frecuente aplicacion á los espigones, ya para contener la marcha de los aluviones, defender las costas [126] é impedir, como en el puerto de Sables d'Olone, la trasmision, al interior del puerto, de las resacas [114] (lám. 18,ª figs. 11.ª y 12.ª).

269. Diques de claraboya.—Se hace aplicacion de este material á los diques de claraboya, ya como en Dieppe y en Boulogne, para atenuar la agitacion que las olas trasmiten al interior del puerto; ya por el contrario, para mantener aquella agitacion, ó dejar libre el paso á las corrientes y á las arenas del litoral [153], como en el Adour, en el Po y otros rios: es dudoso, sin embargo, el resultado, en uno y otro caso.

En Dieppe (lám. 18.ª, figs. 4.ª, 5.ª, 6.ª y 7.ª) se contruyó una claraboya en la cabeza del dique del Este, de los dos que forman el canal de entrada. Consta la obra de un macizo de hormigon como base, desde 1,50 metros á contar de la baja mar, con un tablestacado de defensa, que se elevó hasta la media marea, formando un plano inclinado al 12 de base por 1 de altura, en la extension de 30 á 40 metros. Sobre el macizo de hormigon se sentó una série de cuchillos distantes 3 metros de eje á eje, con dos

postes de madera intercalados entre cada dos, para disminuir los vanos, que son de 0,70 metros, y de 0,30 los macizos. El sistema es de los más sencillos; dos montantes formando un trapecio, encepados horizontalmente en las bases superior é inferior, y en el medio, y reforzados por aspas. El plano inclinado termina en un muro de recinto.

En un principio se juzgó ser suficiente los cuchillos para romper la fuerza de las olas; estas se esparcian entonces, sin gran obstáculo, á lo largo del plano inclinado, descendian por él, despues de reflejarse en el muro exterior del recinto, y saliendo por las aberturas que les permitian volver á la canal, entraban de nuevo en ella, creando una resaca que cogia de través al buque por un costado, al mismo tiempo que por el opuesto lo hacía otra parte de la ola, reflejada en el dique de enfrente. El buque, así trabajado y sacudido entre dos resacas, no gobernaba, viéndose arrojado con averia gruesa contra el dique del Este. De esta manera se perdieron muchos buques en el invierno de 1841. La poca longitud del plano inclinado, sobre el cual las olas no amortiguaban su impulso, acrecentaba los malos efectos: despues que se colocaron los postes de defensa, cesó en parte el mal efecto en la entrada, pero aumentó la agitacion en el interior del puerto. La relacion entre vanos y macizos que allí ha dado mejores resultados, fué la de 2 á 1; si bien debemos confesar que, cuanto más se disminuyan los claros más se conservará la altura de la ola en el canal. Lo contrario sucederia si el dique fuese de abrigo; entonces habrá en el interior del puerto tanta más tranquilidad cuanto menores sean los vanos en las palizadas.

Otras veces, los diques de claraboya, destinados á amortiguar las olas en la canal de entrada de un puerto, se establecen interrumpidos por tramos de fábrica; entonces, si son dos los diques, suelen colocarse los macizos de uno en frente de los vanos del otro; esto, sin embargo, no parece bien pensado, pues la ola, arrojándose ya de uno ya de otro lado, trabaja al buque en todos sentidos, estrellándolo contra los diques, sin poder gobernar en medio de tan encontrados impulsos.

Tambien en Fecamp se ensayó el sistema, construyendo de claraboya un dique destinado á encauzar el canal y á servir la sirga de los buques, el cual, no siendo suficiente, exigió la apertura, en la parte de fábrica ya construida, de claraboyas análogas á la de Dieppe; tampoco el éxito fué satisfactorio.

270. Diques del Adour.—Las obras de la embocadura del Adour, de que

ya hicimos mencion [153] servirán de ejemplo, para mostrar las alteraciones y mejoras sucesivas introducidas en la construccion de esta clase de diques. No entraremos en la parte relativa á sus efectos, de que ya dimos antes cuenta, limitándonos ahora á la descripcion de la obra.

En el primer periódo (desde 1781 á 1837) constaba de dos diques de pilotes en contacto, estendiéndose 540 metros en el dique del Sur, y solo 180 en el del Norte, á partir de la contraccion del cauce, reducido desde 285 metros á 160. Los primeros diques (lám. 19.ª, figs. 1.ª, 2.ª y 3.ª) eran macizos, insumergibles en las mareas muertas, pero cubiertos por el mar en las vivas. Dos hileras de pilotes formaban el encofrado, y sostenian los montantes y tornapuntas sobre los que se establece el puente de servicio. Los cuchillos, distantes 2,70 metros, se apoyaban sobre piezas empotradas en macizos de fábrica. Basta echar una ojeada sobre el dibujo, para comprender la enorme cantidad de madera invertida superfluamente en la obra; por cuyo motivo el sistema se modificó (lám. 19.ª, figs. 4.ª, 5.ª y 6.ª) sustituyendo la escollera al encofrado, elevándola á la misma altura que antes, sentando un emparrillado sobre pilotes, y en el puente una doble via de servicio con carriles.

Cuando por efecto de la imitacion de las obras construidas en las desembocaduras de algunos rios de Italia quisieron los Ingenieros franceses (en 1857) sustituir los diques macizos con los de claraboya, las palizadas se compusieron (lám. 19.ª, figs. 7.ª, 8.ª y 9.ª) de pilotes de 0,30 metros de diámetro, con 0,60 de claros, es decir, en la relacion de 2 por 1 entre los vanos y los macizos. La escollera no subia de 2 metros de profundidad, á contar de la baja mar de mareas vivas. La accion de las olas, en los temporales, destruia las palizadas que sostenian el piso, y un puente de servicio del sistema Town, de 10,50 metros de claro (lám. 19.ª, figs. 10.ª y 11.ª), sustituyó al antiguo, cuyas palizadas distaban solo 2,40. No fué esto suficiente á conservar la obra; el teredo atacó las palizadas y la estacada de claraboya. Entonces, detras de esta, y abandonándola á la destruccion, se arrojaron montones de escollera sobre la antigua (lám. 20.ª, figs. 1.ª y 2.ª) formando troncos de pirámide, cuya base superior enrasaba con las bajas mares. Sobre estos montones, distantes entre sí 12,50 metros, se estendia una plataforma de hormigon para asentar encima de ella un cuchillo de hierro y madera, en sustitucion de los antiguos. La línea ondulada de los montones de escollera, hacía las veces de una claraboya, despues de destruidas las estacadas, y se

pensó, para aumentar el efecto, en colocar compuertas que, á voluntad, cerrasen ó abriesen los vanos que formaba la escollera. Esta idea se mejoró todavía, estableciendo un sistema de diques de hierro que pertenece al grupo siguiente.

Diques metálicos.

271. Sistema Calver.—El hierro y la fundicion son los materiales que entran en la composicion de estos diques, reemplazando á los de madera, siendo el de Calver el tipo que más se asemeja á ellos. Consiste (lám. 21.ª, figs. 1.ª y 2.ª) en pilotes de fundicion ó cilindros de palastro, que se introducen verticalmente en el terreno, por cualquiera de los medios conocidos, aunque el más generalmente usado sea terminar el pié en una rosca.

Aunque Calver señala á los vanos un espacio igual al de los macizos, es evidente habrá de variar la relacion con las condiciones de la localidad. Además de los tubos verticales, especialmente cuando no son de gran diámetro, se refuerza el dique con tornapuntas y tirantes de hierro. La figura hace ver que los refuerzos del dique no están bien combinados, y con el mismo material se podria dar mayor resistencia al sistema, que tiene muy poca. Encima del dique corre un puente de servicio.

Calver recomienda se oriente el dique de manera que la mayor luz de los claros dé frente al lado de donde viene ménos marejada, de modo que la oblicuidad del dique, respecto de ella, cubra con los llenos los espacios vacíos. Esto será imposible en el mayor número de casos; y si para obtener mayor tranquilidad, se establecen varias filas, el sístema resultaria caro, siendo preferible reducir los claros.

Despues de lo dicho, al tratar de los diques de madera, muy poco tendremos que añadir aquí: es muy dudoso se consiga el objeto de mantener una agitacion moderada, que no permita se depositen los acarreos que el agua lleva en suspension, y el suficiente abrigo para que los buques fondeados no padezcan. Es dificil que la ola no rompa, segun pretende Calver, al chocar en parte en lo macizo del dique y avanzando en otra al través de los claros; el hacerla romper podria ser más perjudicial todavia que la transmision íntegra de la ola; y el dique, solo reforzándolo, resistiria á los esfuerzos reunidos del choque y de la resaca. Otro inconveniente es el del rápido deterioro del hierro y de la fundicion, por la accion del agua del mar;

por más que todos los inventores de sistemas de diques metálicos afirmen lo contrario; y es más difícil todavía preservarlos dentro del agua, donde no es posible la pintura y la conservacion asídua de la obra.

272. SISTEMA WEB.—Web establece su sistema sobre otras bases: interrumpe la transmision de la ola en la parte superior; pero deja libre el espacio que media entre el fondo y la profundidad de 5 á 7 metros. Además, para dividir la ola y amortiguar el choque en la parte superior, tambien deja claros, aunque mucho menores que en el de Calver. El dique se compone (lám. 21.ª, figs. 3.ª á 7.ª) de cuchillos ó bastidores de fundicion, que igualmente pudieran ser de plancha de hierro, cuyo armazon está mejor combinado y en mejores condiciones de resistencia que el de Calver. Cada bastidor consta de una placa que lleva rebordes, dentro de los cuales encajan los tubos horizontales, sujetos con cuñas de madera, preparada contra los ataques de la broma. Los tubos horizontales forman un plano inclinado, y luego se prolonga verticalmente hasta la profundidad en que las olas no ejercen una inflencia marcada. En vez de los rebordes, propone tambien abrir agujeros en las placas de los cuchillos, al través de los cuales pasan tubos, á los que se ajustan los cilindros.

La distancia que media entre los tubos, depende del mayor ó menor paso que se quiera dejar al agua: otras veces se disponen formando una superficie ondulada, para dividir mejor la ola, y tambien propone el autor, rodear los cilindros por anillos ó coronas móviles, con álabes en su contorno, para romper y amortiguar la fuerza del choque. Estas piezas adicionales no parece deban tener gran eficacia práctica; y, aunque la tuviesen, serian muy pronto destruidas. Lo mismo que el de Calver, lleva un puente de servicio, establecido sobre montantes y destinado á transitar por encima del dique.

273. SISTEMA PROPUESTO POR SCOT-RUSSELL.—El que Scot-Russell propone, entra en la categoría del anterior, ó más bien, es un sistema mixto que no tiene fundamento racional. El dique es de escollera hasta 4,50 metros debajo de la baja mar, y en su borde exterior se levanta, hasta aquella línea, un muro de fábrica, que sirve de apoyo á la parte de hierro. De trecho en trecho (6 metros, segun el autor) se construyen, en unos casos, contrafuertes de fábrica, cuya coronacion es un plano inclinado; en otros, cuchillos ó entramados de hierro ó madera. Un enrejado de hierro cubre estos contrafuertes, apoyándose en ellos vigas horizontales de doble T, á

las cuales se clavan placas ó bandas en el sentido de la pendiente del plano.

El sistema, segun vemos, tiene todos los inconvenientes de los diques macizos y de los metálicos, sin poseer ninguna de sus ventajas, y son tan manifiestos, que nos parece excusado detallarlos.

274. Dique de Glenelg.—De todos los sistemas, los dos que vamos á describir, son los únicos que han recibido la sancion de la experiencia, aplicándolo el ingeniero Hay, el primero, á defender la cabeza de un embarcadero del puerto de Glenelg, en la Australia del Sur. Él principio en que está fundado es el siguiente: una série de planos inclinados se extienden desde la parte superior del dique hasta la profundidad á que la marejada deja de sentirse con intensidad. La ola, al llegar al dique, lo encuentra primero en la parte inferior, y una parte de la ola resbala, en vez de reflejarse, sobre el primer plano inclinado: la segunda, alcanza al segundo plano pocos momentos despues, y así sucesivamente. De modo, que el choque de la ola, queda dividido en tantas partes cuantos son los planos; y, al descender á lo largo de ellos, no son coincidentes los movimientos, y amortiguan, además, á su vez, el choque de la ola inmediata.

La disposicion del dique es la siguiente (lám. 20.ª, figs. 3.ª, 4.ª y 5.ª): los tramos son de 6 metros, apoyados en cuchillos, que constan de pilares *A* de hierro, que sostienen un enjaretado vertical *BB*, formado con chapas de 152 milímetros de ancho y 20 de grueso. A este enjaretado van cosidas placas de hierro *C*, que corren de un bastidor á otro, sostenidas además por consolas *D* y bandas que las refuerzan. Entre cada dos placas, y normalmente á ellas, corren otras *E*, colocadas de canto, que son las vigas contra las cuales se apoyan las placas, y que las sostienen.

El arriostrado consiste en dos pilotes de rosca, ligeramente inclinados, situados en el plano del bastidor, delante y detrás de él. De las cabezas de estos pilotes parten tirantes *H*, que van á las cabezas y al centro de los que componen el bastidor, y al centro de los tramos.

El sistema debe ser caro, por la enorme cantidad de hierro que absorbe; y es dudoso tenga la suficiente resistencia en mares muy agitados, como el de nuestras costas del Cantábrico. El ensayo ha tenido buen éxito; y hasta hoy llena el objeto de su construccion. Los inconvenientes son los que hemos indicado para los demás diques metálicos.

275. Diques de Adour.—Réstanos describir los diques metálicos em-

pleados en la desembocadura del Adour, en sustitucion de los de madera. Vimos antes [271] las vicisitudes por que aquellos pasaron, decidiéndose al fin á formar la claraboya con tubos de 2 metros de diámetro (lám. 20.ª, (figs. 6.ª, 7.ª y 8.ª), dejando un claro de 3. Entre cada dos de estos tubos corrian compuertas, para reducir ó abrir el paso á las corrientes, segun se bajaban más ó ménos. Cuando por alguna causa se forman bancos, se cierra el paso, los diques siguen entonces una línea no interrumpida, y la corriente de reflujo barre la arena depositada [153].

Los tubos de fundicion se hincaron por la presion atmosférica, hasta la profundidad conveniente, y, despues de hincados, se rellenaron con hormigon. Los tubos llevan, en la parte superior, ménsulas ó consolas, cuya figura en planta es un arco de círculo. Sobre estas consolas, y sobre los bordes interior y exterior de los tubos, corren dos vigas de chapa de hierro, en forma de doble T. En el centro de cada tubo, una viga transversal ó riostra, que liga las dos longitudinales, sirve de base al cuchillo de hierro que se asienta sobre cada tubo, con una elevacion de 6 metros sobre las pleas mares de agua viva. Los cuchillos constan de dos pisos: el inferior lo componen columnas en forma de T, con su capitel para recibir las carreras y las traviesas que sostienen el segundo, el cual lleva además tornapuntas en que se apoya la parte media de las carreras: uno y otro piso van reforzados con aspas.

Sobre los cuchillos corre el piso, sustituido por un carreton, para atenuar la causa principal de destruccion de los diques construidos anteriormente. La ola, actuando de abajo arriba [62] contra el piso, con un empuge enorme, lo arrancaba, y con el esfuerzo destruia tambien los apoyos. El carreton se pone en movimiento, cuando se quiere hacer el servicio para colocar, levantar ó bajar las compuertas, por bielas y manivelas movidas por los mismos obreros que se trasportan en él. Cuatro barras encorvadas en los ángulos del carreton, se apoyan en un contracarril, contra el cual pueden apretarse cuando los obreros se ven sorprendidos por una ola de mayor fuerza que de ordinario.

Por la parte que mira al canal lleva una defensa, formada con piezas inclinadas, apoyándose en las consolas de los cilindros, sobre cuyas piezas inclinadas se empalman otras verticales, ligadas por una carrera y reforzadas con tornapuntas, cuyo pié se apoya en la parte superior y posterior de las columnas. Este armazon sirve de defensa á los barcos que se arri-

men demasiado al dique, exponiéndose á sufrir avería chocando con él.

Las compuertas consisten en tres bastidores para cada una, que se transportan en el carro de servicio, y se colocan desde él. Cada seccion la forma un cuadro, compuesto de dos semi-T, ligadas por traviesas. El exterior, en las primeras, estaba forrado con planchas de hierro, pero el gran peso, su coste elevado, y el rápido deterioro, obligaron á sustituirlas con otras mixtas de madera y hierro, que cuestan solo los 2/5 de las primeras, y cuyo manejo es más cómodo. Los tubos llevan lateralmente, fundidos con ellos, unos salientes ú orejas, á los cuales se sujetan, por medio de pasadores, las traviesas, entre las cuales corren las compuertas. Estas se ajustan por armaduras de hierro, formando recortes, y por cuñas de madera.

Nada diremos, por no pertenecer á este lugar, sobre el objeto de estos diques, despues de lo manifestado en el capítulo VII. Opinamos entonces que no pasaban de ser paliativos, y poníamos en duda su eficacia [153]: segun pronosticábamos, los resultados no están á la altura de la importancia de los trabajos, de los desembolsos hechos y de las esperanzas concebidas. Hasta 1875 la barra continuaba oscilando, como ántes de las obras, ya elevándose, ya descendiendo: el mínimo calado sobre la barra, que es lo que determina la importancia del puerto, fué, en 1871, de solo 1,40 metros, ó próximamente el de los años 1837 y 1859: en 1874 alcanza éste mínimo un máximo de 2,30 metros, el mayor de todos desde 1837, é igual al de 1861. El máximo calado, corresponde al año 1862, con 3,90 metros, siendo en 1874 de 2,90, ó un metro de diferencia; correspondiendo la mínima á los años 1838 y 1839 (2,10 y 2,00 metros); y despues siguen los años 1837, 1869, 1871 y 1874, con cálculos de 2,80 á 2,90 metros. En cuanto á la media tambien ha sufrido oscilaciones: el mínimo corresponde al año de 1839 (1,60 metros), y despues va creciendo hasta alcanzar el máximo en 1862 (2,66 metros), oscilando luego entre 2,20 metros en 1871, y 2,68 (máximo absoluto) en 1873; siendo el término medio de todos los demás 2,50 metros. No existe, pues, verdadera mejora debida á las obras proyectadas, y las alteraciones que se notan en la barra provienen de las condiciones meteorólogicas en los diversos años.

Este sistema, que deriva de el de diques interrumpidos, usado por los romanos [208 y 220], puesto en boga por Fazzio; tiene más analogía con el de Johnston [259], y es exactamente igual al proyectado en 1859 por Ja-

frey y Richardson, con pilas de fundicion rellenas de hormigon y compuertas intermedias. El ingeniero hoy lo modifica haciendo flotantes las compuertas, que llevan cajas de aire, con sus bombas, para lastrarlas más ó ménos. Las compuertas corren en ranuras, abiertas en la sillería cuando las pilas se construyen de fábrica, ó por guias laterales, cuando son de hierro. El sistema presenta sobre los anteriores la ventaja de ser automotor, interceptando en cualquier estado de la marea, la misma lámina de agua que puede hacerse mayor ó menor, á voluntad, por medio de las bombas, que aumentan ó disminuyen el lastre, inyectando ó extrayendo agua en las cajas.

Rompeolas flotantes.

276. Principios en que se fundan.—La gran boga de que, durante algun tiempo, ha gozado este género de construcciones, nos obliga á decir algo acerca de los diferentes sistemas propuestos, por más que su fama, no fundada en ningun hecho positivo, sea sólo teórica, y la moda haya pasado sin ensayo formal de ningun rompeolas. No faltan hoy tampoco inventores que de tiempo en tiempo dan á luz algun nuevo sistema, ó proponen mejoras en los ya conocidos; pero la suerte del invento es la de todos sus compañeros, y ningun ingeniero prudente se atreveria hoy á proponer un rompeolas flotante, como solucion definitiva para abrigar una rada. Sin embargo, creemos utilizables algunos, en pequeña escala, ya como defensas provisionales, hasta la construccion de una obra definitiva, ó como resguardo para trabajar al abrigo de ellos.

Nada más seductor, á primera vista, que los rompeolas flotantes, quienes parecen realizar el *desideratum* de las obras de abrigo de un puerto. Baratura en la construccion; facilidad para establecerlos en todas partes y en cualesquiera condiciones; con grandes calados; no interrumpen la marcha de las corrientes de fondo, é impiden se depositen los acarreos litorales en el puerto; y, por último, son fáciles de remover y variar de situacion, hasta dar con la direccion más conveniente para la obra. Luego verémos á qué quedan reducidas estas ventajas.

El principio en que se funda el mayor número de los sistemas de rompeolas flotantes es bien conocido, é hicimos ya mencion de él [64]. Consiste en la propiedad de que gozan los cuerpos flotantes, ó las construcciones

formando celosía, de amortiguar la violencia de las olas que pasan al traves de ellas. Recordemos que un buque fondeado conserva á sotavento una calma relativa, que permite atracar á él, cuando sería imposible lograrlo abordándolo por el costado de barlovento; y que una red de pescador, tendida verticalmente, basta para cortar la marcha de las olas. Siendo esto así, parece natural que construcciones más resistentes, y en mejores condiciones para oponerse á la accion del mar, produzcan resultados más maravillosos. En efecto, tratándose de la mar de superficie y de calmar la agitacion hasta la profundidad á donde alcance el rompeolas, la obra producirá los efectos apetecidos; pero no será tan eficaz contra la mar de fondo, que se trasmite de largas distancias, y es la que hace trabajar más las amarras de los buques. Esta clase de diques no es aplicable tampoco á aquellos puntos en donde haya rompientes; y en caso de adoptarlos, es sólo posible en grandes profundidades.

La idea de los rompeolas flotantes no es nueva; cuando se quiso abrigar la bahía de Plymouth, Bentham (Samuel) propuso, en 1811, construir un rompeolas flotante con esqueletos ó armazones de madera de 9 metros de ancho y 6 de altura, amarrados á anclas tendidas en el fondo. El sistema difiere sólo en la forma de los cajones, del que más adelante describirémos como inventado por Tayler.

Todo dique flotante consta de dos partes: la flotante, que forma el dique propiamente dicho, y las amarras ó cadenas, con los medios empleados para fijarlo en el fondo del mar. A veces la parte flotante no es el verdadero dique, sirve sólo para sostenerlo; pero áun en casos tales, ella misma hace, en parte, las veces de dique y forma cuerpo con él.

En cualquiera rompeolas flotante, el dique no está compuesto, como de ordinario sucede en los fijos, de una masa contínua, sino dividida en secciones ó trozos; alguna vez ligados entre sí por medio de goznes ó charnelas, pero, por regla general, separados, dejando claros cubiertos por una segunda fila; y á veces los claros de ésta lo están por una tercera, cuando se quiere amortiguar todavía más la accion de la marejada. Si todo el dique formase un solo cuerpo, la obra sería pronto destrozada; en el descenso de la marea, las amarras se aflojan; las olas y las corrientes desarrollarán esfuerzos irresistibles, y una sola amarra que ceda, bastará para destruir el rompeolas.

Tambien es conveniente que el dique esté sumergido cuanto sea dado;

de este modo alcanza mayores calados, y corta la marejada á mayor distancia de la superficie; al paso que evita la accion del viento sobre el dique, cuya accion ayudaría á tumbarlo, ó á hacer trabajar las amarras más de lo que pueden resistir.

Los materiales empleados en estas obras son la madera y el hierro; su poca duracion es ya un motivo para clasificarlos en una categoría inferior. La madera será forzoso prepararla de manera que resista á la accion destructora de la broma : su densidad es de ordinario suficiente para hacer flotar el rompeolas, á pesar del gran peso del herraje y de las cadenas que sujetan las diferentes piezas; y en algunas ocasiones en que esto no basta, se la da la flotacion necesaria por medio de placas de corcho sujetas al armazon. Cuando se emplea el hierro, es evidente que sólo logra flotar el dique merced á los espacios vacíos, impenetrables al agua, cuyo volúmen aumenta el poder de flotacion de la obra hasta hacerla más ligera que el líquido en que está sumergido. Cuando se hace uso de cajas ó tubos destinados á este objeto, se subdividen en compartimientos, para limitar á uno de ellos, en caso de avería, la entrada del agua, y evitar se vaya á pique la obra penetrando el agua en toda ella.

277. Sistemas Pringle, Reid, Gourney y Davidson.—Dejando aparte algunos sistemas cuya ineficacia es manifiesta, ó cuya aplicacion sería excesivamente costosa, el más sencillo de todos pertenece al capitan Pringle. Consiste (lám. 21.ª, figs. 8.ª, 9.ª y 10.ª) en bastidores de madera formados con piezas triangulares, sacando, para mayor economía, dos de cada madero de $0{,}30^2$ de escuadría. Los bastidores de 30,50 metros de longitud, con una altura vez y cuarto de la profundidad, están compuestos de cuatro carreras, arriostradas por una aspa; y delante, en sentido vertical, se colocan montantes con intervalos de un tercio del macizo, sujetos en las extremidades por pequeñas piezas ó tarugos de madera. Las cadenas que sujetan la obra al fondo, tienen pilotes de rosca como puntos de amarra.

A este tipo pertenece tambien el de Reid (lám. 21.ª, figs. 11.ª y 12.ª): consta de una serie de cuchillos de madera, compuestos de una armadura *A* de 6 metros de luz, que sostiene toda la coustruccion, y un triángulo *B*, sobre el cual se apoya un plano *D*, inclinado á 35.°, compuesto, de tablones colacados en sentido diagonal, con intervalos entre cada dos de 0,10 metros. *EE* representa las cadenas de amarra, sujetas á un cabrestante *H*, situado sobre la plataforma del rompeolas. Además de las objeciones que le

son comunes con todos los demás, haremos observar que, la armadura es enteramente inútil, pues nada sostiene, antes bien carga al rompeolas.

Gourney introdujo en el sistema una modificacion, que lo altera radicalmente; en vez de colocar los bastidores en sentido vertical, los dispone horizontalmente, con objeto de destruir el empuje vertical de las olas, más enérgico y temible que el horizontal [62]. Para obtener dicho resultado, se requiere que las cadenas se mantengan muy tensas, porque si no, la plataforma ó balsa subirá y bajará con la ola, y causará muy poco ó ningun efecto. Así sucederá en el mayor número de puertos, especialmente si son de mareas, en los cuales, dando á las cadenas la longitud correspondiente á las pleas de agua viva, quedarán flojas para los demás estados de la marea. Por lo contrario, cuando las cadenas estén tensas, no hay amarra capaz de resistir al empuje vertical de la ola, áun en el más benigno temporal.

El de Davidson (lám. 21.ª, fig. 13.ª) es en rigor una modificacion del anterior, dispuesto para atenuar este empuge vertical. Supone á la balsa una extension transversal capaz de cubrir tres olas en toda su longitud, lo cual, ya por sí demuestra la imposibilidad de su aplicacion económica, tenida en cuenta la longitud de las olas [32]. Tambien lo supone muy rígido y resistente para no amoldarse á la forma de las olas, y esto ocasionará sobre las amarras esfuerzos irresistibles. Propone cerrar todo el suelo ó piso del rompeolas de manera que no pase el agua al traves, ó dejar en él aberturas, por ejemplo, formando la balsa con maderos cruzados más ó ménos juntos. Hasta aquí, como vemos, en nada difiere de el anterior, pero Davidson introduce la siguiente modificacion que aplica especialmente á los puertos en los cuales la mar de fondo se hace sentir con fuerza. Varios de los maderos *B* paralelos al frente del rompeolas, que cruzan y se apoyan sobre los *A* perpendiculares á ella, van sujetos por goznes *F*, que permiten á las olas abrirse paso de abajo arriba al traves de estos maderos; y á fin de que, pasado el choque, vuelvan á caer, su escursion está limitada por los estribos ó hierros *E*, con una inclinacion de 60.° próximamente. Cuando la balsa no tiene poder de flotacion suficiente, se agregan al sistema las boyas *K* que lo sostienen.

278. Tayler.—Volviendo al sistema propuesto por Pringle, se descubre á primera vista cuán débil es para impedir la trasmision de la ola al interior del espacio que se pretende abrigar. Ademas, no estando atirantadas

trasversalmente sus caras, los mamparos cederán al más ligero impulso, y la ola se propagará casi sin obstáculo dentro del puerto. Tayler ha combinado mejor las diferentes partes de su rompeolas; la forma de los cajones se aproxima á la de un buque (lám. 21.ª fig. 14.ª). En planta es un rectángulo de 20 metros de largo por 5 de ancho, con dos proas triangulares de 2,60 metros de saliente cada una. La seccion vertical es la de un rombo prolongado, ó de dos triángulos superpuestos y unidos por sus bases; el inferior de 5,50 queda sumergido, y el superior de 2,50 se mantiene fuera del agua lo cual da 8,00 metros para la altura total del dique. El sistema de construccion está reducido á tres mamparos ó bastidores longitudinales, uno central y otros dos inclinados, uniéndose los tres en la quilla, y á una serie de cuchillos trasversales que los ligan. Lleva además las proas de forma piramidal.

El sistema de amarras tambien está mejor combinado que el de Pringle. Una cadena longitudinal, sujeta al fondo de trecho en trecho, ya por medio de anclas, ya de pilotes de rosca, suministra para todas las secciones de la misma fila, cuantos puntos de amarra se juzguen necesarios. Cada seccion lleva de ordinario cuatro amarras en el sentido del rompeolas, dos verticales y dos inclinadas. Además de éstas, arranca de una cadena longitudinal que rodea el cajon, otro ramal hácia la cara que mira al mar, con objeto de oponerse á la accion transversal de las olas, que tumbarian el cajon si se suprimiese aquella amarra.

Las cajas (lám. 21.ª, fig. 15.ª) están dispuestas en dos filas, distantes 5 metros, de manera que los llenos de la segunda cubran los claros de la primera. Los llenos, sin contar las proas, son iguales á los claros; es decir, de 20 metros cada uno.

Si algun rompeolas flotante fuese aceptable en principio, indudablemente habria que contar en el número al de Tayler: la ola atraviesa tres celosías, que quebrantan la fuerza del mar, sin contar con el obstáculo que oponen tambien las demás piezas auxiliares; la masa de agua que se conserva inerte en el interior del cajon, resiste tambien y absorbe una parte de la fuerza viva de la ola; la resistencia de la obra es grande, por el enlace y trabazon de todas las piezas; y, por último, el sistema de amarras es completo. Pues bien, á pesar de todo, los ensayos le han sido desfavorables: en Brighton se colocaron, en Diciembre de 1844, tres secciones, rotas y arrastradas á la costa en el mes de Agosto de 1846, sin haberse

realizado ninguno de los resultados prometidos. No dándose por vencido el inventor, con este primer ensayo, intentó un segundo en mayor escala, eligiendo al efecto el puerto de la Ciotat, donde la falta de mareas presentaba condiciones más favorables al buen éxito de la prueba. Constaba el dique de diez secciones, cubriendo una línea de 200 metros; y desde los primeros meses se pudo conocer su ineficacia, y la marina reclamó la remocion de aquel estorbo que no la prestaba utilidad alguna. En el reconocimiento practicado en 1849, se encontraron muy averiados, asi los entramados como las amarras; y en Enero del siguiente año se rompieron las cadenas de dos cajones, uno de los cuales se deshizo contra la playa, y el otro fué arrastrado al interior del puerto. La prueba, cuyo coste fué de 272.000 pesetas, ó 1.360 por metro lineal, se dió entonces por terminada.

279. Groves y Saunders.—Al tipo del de Pringle, aunque con distinto material, pertenece el de Groves. Una fila de cilindros verticales de hierro, de 2 metros de diámetro, divididos en cuatro compartimientos, sostiene, pendientes de barras de hierro, un rastrillo del mismo metal, formado con chapas de 2,50 metros de longitud. De manera que, contando con la parte sumergida del cilindro, sólo alcanza hasta profundidades de 3,5 á 4 metros, insuficiente en el mayor número de casos. Tambien se ensayó en Dover, con éxito desgraciado, una longitud de 15 metros, que fué arrastrada en un temporal. La mar permanecia tranquila á la distancia de 30 metros del rompeolas. Si otras razones no diesen fuerza á los resultados de la experiencia, un ensayo en tan pequeña escala, nada probaria en pró ni en contra del sistema sometido á exámen. Debemos, sin embargo, hacer notar que, áun aceptándolo, la disposicion adoptada no parece la mejor. La obra tendria más estabilidad colocando los cilindros horizontalmente; éstos contribuirian tambien á detener la marcha de la ola, más eficazmente que colocados en sentido vertical. En esta última forma (lám. 21.ª, fig. 16.ª y 17.ª) hemos visto descrito el rompeolas por Carghill, siendo más probable esta disposicion que la primera, por más racional.

Si el dique de Groves puede agruparse con el de Pringle, el de Saunders pertenece al tipo de Tayler. Sobre una plataforma (lám. 21.ª, figuras 18.ª, 19.ª y 20.ª) de 30,60 metros de longitud por 7,60 de ancho, se apoya un rectángulo formado con tubos de palastro, arriostrados por otros tres intermedios, que lo dividen en cuatro compartimientos. Los tubos no tienen todos el mismo diámetro; con objeto de arreglar la flotacion á la distribucion

de pesos en la obra, al interior se le dió 1,53 de diámetro, y al exterior solo 0,92. Los dos laterales son cónicos, para adaptarse á los diámetros de los dos tubos que unen, y los intermedios tienen el diámetro del menor de los longitudinales : la plataforma se apoya á su vez sobre cuchillos triangulares de 3,84 metros de altura, distantes unos de otros la misma longitud. En la cara anterior se clavan placas horizontales, dejando entre ellas intervalos que son cubiertos por otras dos séries, colocadas más atrás en igual forma. La ola se quiebra al pasar al travás de estas placas.

Los cuchillos van arriostrados por medio de tirantes horizontales é inclinados, siendo aplicable aquí lo dicho del dique de Tayler. Las amarras son cuatro, distribuidas en las caras anterior y posterior, pero cerca de las extremidades del cajon. Cada una se divide en dos ramales, y los grilletes que los sujetan son de resorte, con objeto de amortiguar el efecto de las sacudidas de las cadenas, en los choques bruscos y repentinos.

280. King.—El mejor combinado de los rompeolas de este género es indudablemente el debido á King. Las secciones (lám. 21.ª, figs. 21.ª y 22.ª) tienen 91,50 metros de longitud, 18,30 de altura, de los cuales 13,40 sumergidos. El peso total de cada seccion es de 500 toneladas. El flotador es un cilindro semicircular de 6 metros de diámetro, arriostrado interiormente. Este tubo se aplica por su parte plana á una placa de palastro de las dimensiones del tramo, y se sujeta y refuerza con cuchillos, tambien de chapa de hierro en la parte superior, y de celosía en la inferior, distantes 3,66 metros. Los cilindros llevan tubos de desagüe, á los cuales se atornilla una bomba cuando haya de extraerse el agua introducida en algun compartimiento.

El sistema de amarras consiste en un cierto número de ramales de cadena, generalmente acoplados dos á dos. Estos ramales pasan verticalmente por tubos que atraviesan el cilindro de arriba abajo, é incomunicados con él, para que el agua no penetre en los compartimientos del cilindro. Ordinariamente son tres las cadenas que pasan por el mismo tubo; la central va á amarrarse á un cuerpo muerto, y las otras dos á dos anclas situadas en la parte anterior y posterior del dique, engalgadas á contrapesos dispuestos para dar á las cadenas la tension conveniente, en los distintos niveles que toma el agua con la marea. Para el servicio lleva el dique en su coronacion una vía sostenida sobre consolas. Además, el lastre y el peso del material que entra en el dique, está distribuido de manera, que

el plano que recibe el impulso de la ola tiene una pequeña inclinacion hácia la parte anterior, con objeto de mantenerlo vertical en el momento del choque.

Las diferentes secciones de que consta el dique, están unidas por goz   nes. Hubiéramos preferido, por las razones ya expuestas, se conservasen sueltas, á ligarlas entre sí. La trabazon, en obras de este género, puede traer su ruina, acumulando en puntos determinados los esfuerzos desarrollados sobre una grande extension de dique. El coste lo calcula su autor en 2.700 pesetas por metro lineal, comprendiendo en el precio el de las amarras y cuerpos muertos.

281. Sleigh y Hay.—En los rompeolas descritos hasta aquí, la parte flotante es el mismo rompeolas; pero en los dos que siguen, aquella constituye solo el apoyo de los mamparos que se oponen á la entrada de las olas en el puerto.

Solo como recuerdo hacemos aquí mencion del sistema debido al capitan Sleigh: consta de barcazas, pontonas ó balsas, puestas de costado al mar. Sus dimensiones son las siguientes: eslora 26 metros, manga 4,27 y 1,83 el puntal. Estos flotadores sostienen un plano inclinado, la mayor parte del cual se encuentra fuera del agua, en la longitud de 18,30 metros, quedando debajo hasta 2,00 ó 2,50 de profundidad, en extension de 6 metros, conforme á la inclinacion del plano. Los puntos de sujecion ó de apoyo de éste son: el borde exterior de la gabarra y cuchillos triangulares, armados sobre ella con montantes y tornapuntas. Otras veces el plano inclinado forma la cubierta de la barca, prolongándose verticalmente uno de los frentes y los costados. Con 25 toneladas de peso, las gabarras calaban 0,30 metros. Lo singular del sistema es el empleo de la materia fibrosa que contiene la corteza del coco (abacá) para fabricar las amarras, con exclusion del hierro por temor á la oxidacion.

Se descubre á primera vista en cuán detestables condiciones de resistencia se coloca la obra: las barcas, en un mar ligeramente agitado, no resistirian de costado la accion de las olas, segun se ha visto prácticamente en muchos faros flotantes, fondeados en mejor situacion. ¡Júzguese de lo que sucederia bajo el enorme choque de la ola al romper contra el plano inclinado! Es lo más probable, que ni para tiempos bonancibles serviria el rompeolas. Nada dirémos del empleo del abacá en las amarras, pues en rigor se podrian reemplazar los cables con cadenas de hierro.

Ademas de los anteriores inconvenientes, presenta el de profundizar muy poco dentro del agua, y de no interrumpir la accion de la marejada; limitándose á hacer romper la ola contra el dique, en su parte superior.

El autor se promete grandes resultados con el sistema de amarras que propone usar. Sujeta los cables á puntos que supone situados en el eje de giro de las barcas, que oscilan bajo el impulso del viento, de las corrientes y de las olas, y con ello cree anular los esfuerzos ejercidos sobre los cables ó cadenas. En nuestro *Tratado de faros*, describimos para los flotantes un sistema de amarras fundado en el mismo principio; pero lo que podia tener allí alguna utilidad, es aquí completamente insostenible; los faros flotantes fondeados en las más favorables condiciones de resistencia, y de manera que el esfuerzo sobre el barco sea un mínimo, se encuentran sometidos únicamente á la accion de olas en estado oscilatorio. En el caso presente sucede lo contrario; la situacion de las barcas, presentando el costado al mar, es la que da orígen á mayores esfuerzos, y tales, que es dudoso haya amarra que los resista. Las olas rompen contra el plano inclinado, y es fácil prever que el eje de giro ó de oscilacion, variará, entre límites muy distantes, con la altura de la ola, con su empuje, con su direccion, etc. Y por último, para que la accion de la ola sobre los cables se atenuase, era preciso suponer á las barcas una movilidad suma, de que carecen, por su forma y situacion, por el armazon que llevan encima, y por la enorme masa de agua que deberia desalojar la parte sumergida. En resúmen, el choque contra el dique se trasmitirá íntegro á las amarras.

Tres secciones de este rompeolas debieron ser ensayadas en Folkstone; pero ó no lo han sido, ó el éxito no correspondió á las esperanzas del inventor, pues no hemos logrado averiguar el resultado.

Hay modifica el anterior sistema de una manera más racional: las barcas presentan la proa al mar, y los mamparos, que aquí son verticales, van colocados entre ellas, profundizando lo bastante para interrumpir la marcha de la marejada. Como accesorio del sistema, llevan las barcas, en la parte posterior, un cajon que sirve de contrapeso á la parte anterior, é impide además que los bastidores se inclinen bajo el impulso de las olas. Escusado es repetir, que así los cajones como las barcas, van divididos en compartimientos estancos, con sus bombas de achique ó de inyeccion, para disminuir ó aumentar el lastre.

282. Sartorius, Parlby y Yule.—Dejamos para lo último el describir los

sistemas fundados en la division de la ola cuando penetra al traves de pequeños cuerpos flotantes. Ya el almirante Sartorius habia propuesto tender tres filas de boyas dispuestas en escaques, ligadas unas con otras por medio de amarras. Fácil es conocer lo exagerado del gasto y la poca eficacia de la obra. Parlby, fijándose en la tranquilidad de que disfrutan los mares de sargazo, y otros parajes abrigados por plantas marinas, quiso imitar artificialmente (lám. 21.ª, fig. 23.ª) una que crece en grande abundancia en el cabo de Buena-Esperanza. La *laminaria buxinalis*, especie de fuco gigantesco y de forma de trompeta, segun lo indica su nombre, alcanza alturas de más de 9 metros. Para imitar estas plantas ha propuesto varios medios: 1.° La aplicacion de un tejido fuerte de pita ó abacá, hecho impermeable y consistente con algunas capas de cautchouc. 2.° Grandes perchas rajadas en la parte superior y cortadas en forma piramidal. Para qué la percha con su amarra pueda flotar, se introducen en las hendiduras tablas de corcho que se sujetan con ligaduras. Este sistema resultaria muy caro, siendo preferible componer la percha con pequeñas piezas empalmadas y acopladas. El pequeño esfuerzo á que deberá resistir cada uno de los elementos del dique, no requiere gran fuerza en las amarras, y el cuerpo muerto puede reducirse á una piedra de grandes dimensiones. El autor propone para cuerpos muertos enrejados de fundicion *A* (lám. 21.ª, fig. 23.ª) ó de madera: en cada cruzamiento de la cuadrícula se ata un cabo, y á él una de las perchas. Cada cuerpo muerto de esta forma es capaz de sostener un considerable número de perchas.

El autor propone cerrar por completo, de esta manera, espacios en donde los buques puedan mantenerse en perfecta tranquilidad. La entrada se verifica al traves del dique, que no opone resistencia al paso de los buques. El autor del proyecto evalua en 3.400 pesetas, el coste por metro lineal de un dique de 46 metros de ancho, tipo que encontramos excesivamente bajo; pues por mucho que se redujese la cantidad y calidad de los materiales, no bajaria, segun nuestros cálculos, de 10.000 pesetas. De todos los rompeolas flotantes es el que lleva el sello de la originalidad, y el que ménos inconvenientes ofrece para los buques fondeados bajo su proteccion. Restaria sólo examinar prácticamente, hasta qué punto se extenderia su eficacia para abrigar una rada. Las reparaciones de los deterioros causados con la entrada y salida de los buques, que contínuamente arrancarian algunas perchas, serian frecuentes; y otro tanto sucederia con los destrozos que indudable-

mente causarian en el dique los grandes temporales, arrancando gran número de perchas, como hoy lo hacen con las algas marinas que arroja sobre la playa.

Para concluir con este grupo de los rompeolas flotantes, nos limitarémos á mencionar el de Yule, que en un principio estaba tambien reducido á palos ó perchas verticales, reemplazados posteriormente por tubos de 0,25 de diámetro y de una longitud de 1,50 á 2,00 metros. A éstos, que sirven á la vez de flotadores, van unidas hojas ó aspas de 3,50 á 6,00 metros de longitud, segun la profundidad. Estos tubos, distantes 4,50 metros, están sujetos por alambres colocados de metro en metro en sentido vertical.

Fácil sería multiplicar los sistemas; pero nos parecen suficientes los mencionados, tratándose de obras cuya aplicacion ha de ser muy limitada, y usadas sólo como provisionales. Indiquemos algunos de los defectos de más bulto de que adolecen y son comunes á todos. El de más bulto procede de que su estabilidad estriba en las amarras, fia en ellas la seguridad de los buques fondeados al abrigo de los diques, y nunca hay la certeza, por mucho que la resistencia se exagere, de que alguna ancla no garree, ó de no romperse alguna amarra. Reflexionemos cuán precaria sería la situacion de un buque expuesto á aquella contingencia, faltándole el abrigo con que contaba y amenazado de ser echado á pique ó destrozado por la masa flotante de una parte del dique desprendido; sería preferible, para él, correr el riesgo de fondear en una rada abierta á los vientos, á la necesidad de someterse á semejante contingencia.

Los gastos de conservacion y de reparacion han de alcanzar en estos rompeolas cifras muy elevadas, no sólo por la naturaleza poco duradera de los materiales que entran á formarlos, que son rápidamente destruidos, por la broma, si se emplea la madera sin preparar, ó por las sales del mar, si se hace uso del hierro, sino tambien por los choques y sacudidas á que están expuestos durante los temporales, y unas secciones con otras en los puertos de gran carrera de marea. Si las amarras están tensas en un temporal, la sacudida de la ola al levantar el rompeolas, desarrolla un esfuerzo enorme, al cual no hay amarra que resista. Cuando la carrera de la marea es grande, las amarras se aflojan en el descenso, la corriente de marea y otras, las arrastran y chocan entre sí las secciones del rompeolas. Y por último, Rennie da una razon que echa por tierra el fundamento mismo de la obra; estos rompeolas no son otra cosa que cuerpos flotantes, como los

mismos buques, y fondeados en peores condiciones que éstos; y si los primeros resisten, mejor resistirán los segundos. Es cierto que algunos inventores aseguran lo contrario, aunque sin dar razones que prueben su aserto, pero ya discutimos, al tratar del sistema del capitan Sleigh, el valor de tan extraña opinion. Findlay evalúa en 1.000 toneladas en vez de 25, el esfuerzo á que las amarras deben resistir en el sistema Tayler, suponiéndo á la ola sólo un tercio de su fuerza conocida. El mismo del mayor Parlby, que parece sufrir más débiles esfuerzos, no podria mantenerse en mares donde la resaca fuese violenta: el *fucus giganteus*, de 110 metros de longitud, tan abundante en las costas de la Patagonia y de la tierra del Fuego, es arrancado en los temporales y llena, en estas épocas, todas las bahías de aquella costa.

Con este capítulo termina cuanto nos proponiamos decir, y consideramos útil para el constructor de obras de puertos, en cuanto se refiere al abrigo; los capítulos siguientes tratarán de las obras interiores de los mismos, empezando por los muelles que forman su recinto.

